

Trimestriel n° 305
SEPTEMBRE 2021

CNRS

LE JOURNAL



**Covid-19, sida,
tuberculose... les biologistes
sur tous les fronts**

**À 100 ans,
Edgar Morin
poursuit sa voie**

**Les maths au
secours de la
planète**

**Climat et
biodiversité : le
combat commun**

SOUTENEZ LA RECHERCHE

FAITES UN DON À LA FONDATION CNRS



© Frédérique Pias/CNRS Photothèque

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

fondation-cnrs.org 

Rédaction :

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

E-mail : lejournald@cnrs.fr

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

Anciens numéros :

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

Directeur de la publication :

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Sophie Chevallon

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

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, Sebastián Escalón, Denis

Guthleben, Martin Koppe, Francis Lecompte,

Matthieu Stricot

Secrétaire de rédaction :

Émilie Silvoz

Direction artistique :

David Faure

Iconographes :

Anne-Emmanuelle Héry, Katherine Kay-Mouat,

Sophie Léonard

Gestionnaire :

Mathieu Chatellier

Assistant de direction :

Frédéric Roman

Illustrations :

Atelier Bingo / LA SUITE Illustration

Impression :

Groupe Morault, Imprimerie de Compiègne

2, avenue Berthelot – Zac de Mercières

BP 60524 – 60205 Compiègne Cedex

ISSN 2261-6446

Dépôt légal : à parution



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

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

En couverture :

Edgar Morin © CATHERINE GUGELMANN/OPALE/LEEMAGE

**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



La pandémie de Covid-19 que nous traversons depuis maintenant dix-huit mois fait l'objet d'importantes recherches, impliquant les scientifiques de nombreuses disciplines et tout particulièrement les biologistes. *CNRS Le journal* s'en fait régulièrement l'écho et ce numéro ne déroge pas à la règle avec un article sur les pistes de nouvelles thérapies contre le SARS-CoV-2. Vous lirez aussi que les laboratoires du CNRS restent mobilisés face à d'autres pathologies telles que la tuberculose ou le sida, pour comprendre les mécanismes biologiques à l'œuvre dans ces infections et, là aussi, proposer de nouvelles approches thérapeutiques. Les pistes sont multiples et pleines d'espoirs.

Il faut ici rappeler le rôle essentiel de la recherche sur les mécanismes fondamentaux en biologie, comme l'illustre la chronique de l'historien des sciences Denis Guthleben sur la participation française à la découverte de l'ARN messager, ayant ouvert la voie à son utilisation en santé humaine. De nos jours, l'ouverture de la biologie aux autres disciplines mènera, j'en suis persuadé, à d'autres grandes avancées scientifiques.

“L'ouverture de la biologie aux autres disciplines mènera à de grandes avancées scientifiques.”

Le rôle du CNRS et des scientifiques est d'informer activement la société des avancées de la science mais également de lutter contre les fausses informations qui se répandent rapidement lors des temps incertains. Le CNRS déplore ainsi les prises de position publiques de certains scientifiques et a même dû exiger, récemment et publiquement, le respect des règles de déontologie des métiers de la recherche, règles que nous détaille dans ces pages Joël Moret-Bailly.

Cette crise rappelle l'importance d'expliquer et de partager la démarche scientifique avec le plus grand nombre. C'est justement l'un des objectifs de l'Année

de la biologie, qui va être lancée en octobre. L'année scolaire 2021-2022 sera en effet l'occasion de mettre en valeur la recherche en biologie et ses enjeux actuels grâce au soutien du CNRS et du ministère de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports : des actions de formation, à destination des professeurs du secondaire en sciences de la vie, seront mises en place partout en France pour rapprocher les mondes de l'enseignement et de la recherche.

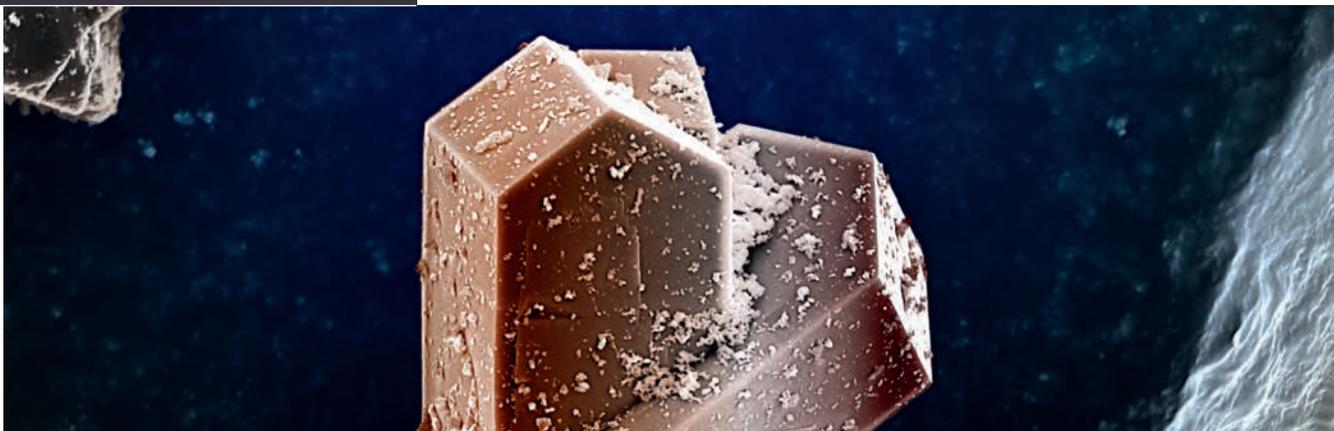
L'Année de la biologie sera également l'occasion de mobiliser les acteurs et actrices de la recherche, les personnels du CNRS, scientifiques et administratifs, par des actions de vulgarisation scientifique grand public. Elle proposera un ensemble de ressources et d'informations via le site dédié à cette action¹. Je suis persuadé que nous serons, au CNRS, à la hauteur des enjeux majeurs qui se dessinent avec les mutations profondes en cours de nos environnements.

André Le Bivic,
directeur de l'Institut des sciences biologiques
(INSB) du CNRS



© FRÉDÉRIQUE PLUS/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. <https://anneedelabiologie.cnrs.fr/>

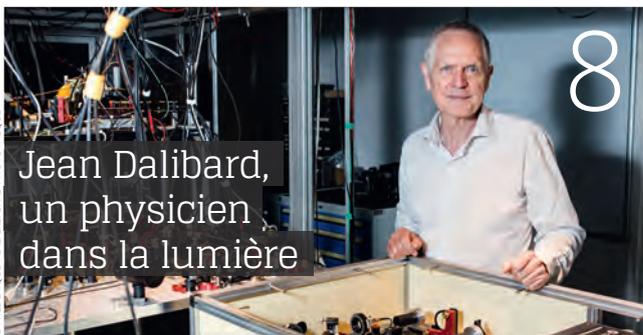


GRAND FORMAT

15

À 100 ans, Edgar Morin poursuit sa voie	16
Fascinantes images de science	28
40 ans après, peut-on en finir avec le sida ?	34

© B. REBÈRE, ADNSOYICOM



8

Jean Dalibard,
un physicien
dans la lumière

© FRÉDÉRIQUE PLASCHINS, PHOTOPIÉRIQUE

EN PERSONNE 5

« Un scientifique n'échappe pas au droit commun pour n'obéir qu'à ses propres règles »	6
Jean Dalibard, un physicien dans la lumière	8
Une récompense pour les passeurs de science	10
Sorina Pop booste l'imagerie médicale	12
Brèves	14



44

Covid-19 :
sur la piste des
traitements

© NIKKO VIVANTINI/PASTEUR DE LILLE

EN ACTION 41

« Le changement climatique nous touche déjà de plein fouet »	42
Covid-19 : sur la piste des traitements	44
Une reconstruction mammaire sur mesure	47
Cap sur la nouvelle IA	48
Un nouveau plan pour la parité	49
Quand un trou noir rencontre une étoile à neutrons	50
L'impact du Brexit sur la recherche européenne	52
Les maths au secours de la planète	54
Un siècle après son invention, quel avenir pour le BCG ?	56



64

Biodiversité
et climat :
même combat

© ANDREAS EBELMANN/ISTOCK/ODDIBE.COM

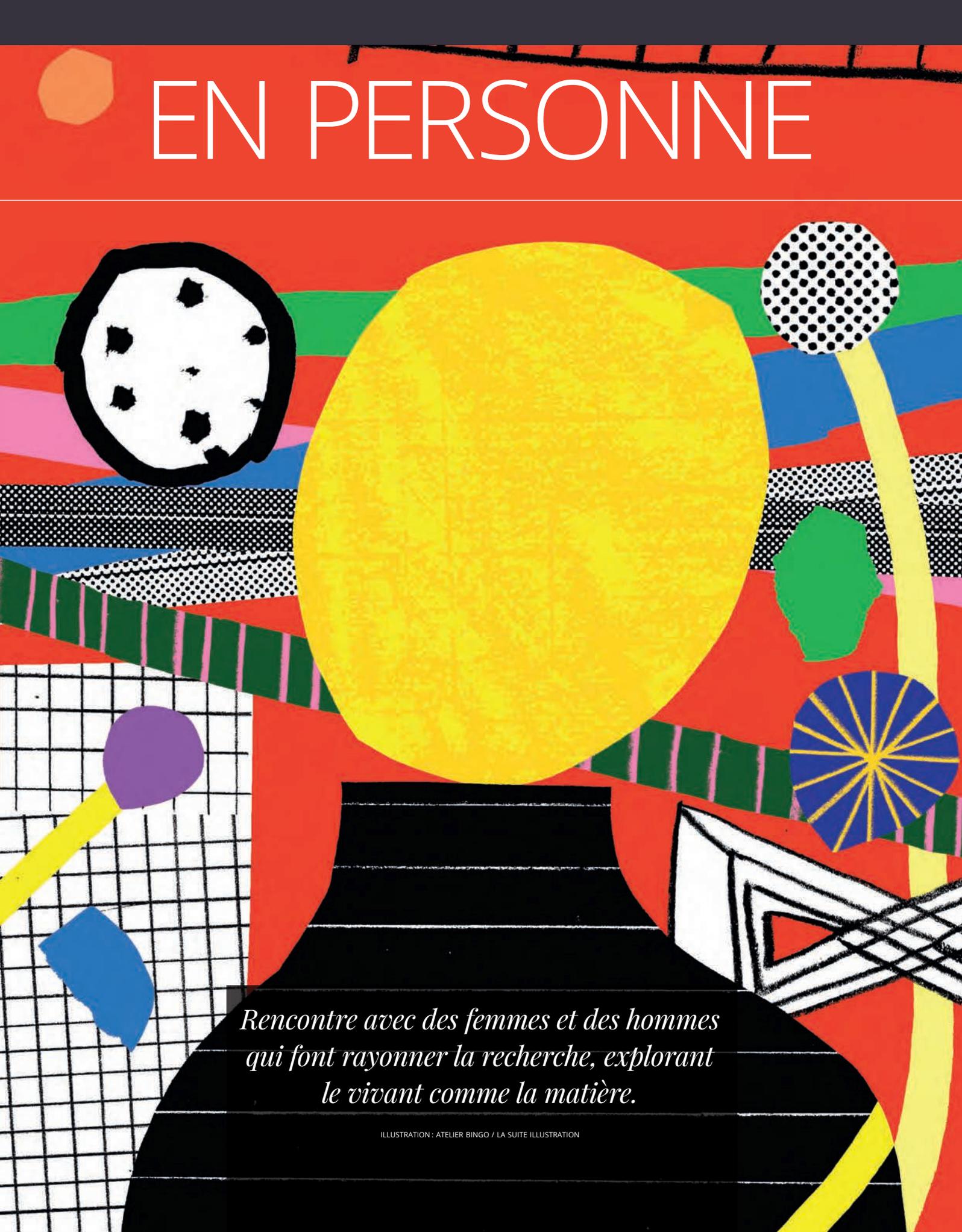
LES IDÉES 59

Ne l'appellez plus jamais Gulf Stream	60
Les enjeux de la publicité politique ciblée	62
Biodiversité et climat : même combat	64

LA CHRONIQUE

Un (ARN) messager du passé	66
----------------------------------	----

EN PERSONNE



*Rencontre avec des femmes et des hommes
qui font rayonner la recherche, explorant
le vivant comme la matière.*

« Un scientifique n'échappe pas au droit commun pour n'obéir qu'à ses propres règles »

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT

ENTRETIEN Travailler au CNRS implique de respecter des règles déontologiques inhérentes aux métiers de la recherche, notamment lors de prises de position publiques. Joël Moret-Bailly, référent déontologue du CNRS, nous rappelle ces règles et leurs conséquences.

En étant employés au CNRS, quelles règles déontologiques les chercheurs et chercheuses doivent-ils suivre ?

Joël Moret-Bailly ¹. La fonction publique est régie par de nombreuses règles de par la loi n° 83-634 du 13 juillet 1983 portant droits et obligations des fonctionnaires. Elle prévoit des obligations déontologiques du fonctionnaire notamment en termes de probité, d'intégrité et de neutralité (article 25). Plus précisément, en ce qui concerne le monde scientifique, la Charte française de déontologie des métiers de la recherche ² de janvier 2015 explicite les critères d'une démarche rigoureuse et intègre, notamment en termes de respect des dispositifs réglementaires, de fiabilité du travail de recherche, de cumul d'activités et de communication. Tout chercheur exerçant dans un éta-

blissement ayant ratifié cette charte doit en suivre les règles. Et le CNRS l'a adoptée en 2019. Enfin, en 2020, la Charte déontologique du CNRS ³ qui rappelle et précise certaines de ces règles pour l'organisme a été publiée.

Il faut noter également que certaines règles déontologiques ne sont pas écrites, mais existent pourtant dans la communauté scientifique et régissent cette dernière, par exemple celles relatives aux formes de courtoisie à employer dans les interventions orales ou dans les écrits – qui varient, qui plus est, selon les disciplines. Ainsi, si la violation de la déontologie est envisagée dans un cadre disciplinaire, il n'est pas nécessaire de faire référence à des règles déontologiques écrites pour qualifier une faute et la sanctionner. Et si le travail de chercheur implique beaucoup d'indépendance et de liberté, ce n'est pas parce que l'on est chercheur que l'on échappe au droit commun pour n'obéir qu'à ses propres règles.

Quelle est précisément votre mission au CNRS, et à quel moment intervenez-vous ?

J. M.-B. La fonction de référent déontologue, que j'occupe au CNRS, a été créée en 2016 afin de permettre aux agents qui le souhaitent (je ne peux

pas m'autosaisir) d'obtenir un conseil en ce qui concerne les questions déontologiques qu'ils pourraient se poser à propos de leur propre situation, étant précisé que les échanges entre l'agent et le référent déontologue, couverts par le secret professionnel, sont donc parfaitement confidentiels.

Concrètement les agents peuvent me contacter ⁴ s'ils ont une difficulté avec une règle ou s'ils se demandent si leur comportement est conforme aux règles déontologiques, par exemple vis-à-vis des questions de conflit d'intérêts, de fraude scientifique... Si les agents peuvent saisir le référent déontologue, l'institution le peut également si elle souhaite de l'aide sur des questions déontologiques. Il me faut ajouter qu'un référent déontologue n'a pas de pouvoir de sanction ou d'action, il a pour rôle de donner un avis, un conseil.

En s'exprimant dans l'espace public, les chercheurs et chercheuses ont-ils des engagements à respecter ?

J. M.-B. Concernant la prise de parole dans l'espace public, il faut tout d'abord préciser que le chercheur ou la chercheuse dispose, par principe, d'une complète liberté d'expression et d'une indépendance légalement

¹. Professeur de droit privé et sciences criminelles à l'université de Lyon (Saint-Étienne) et chercheur au Centre de recherches critiques sur le droit (CNRS/Université Jean Monnet/Université Lumière Lyon 2), Joël Moret-Bailly est spécialiste des questions de déontologie et d'organisation des professions. ². <https://comite-ethique.cnrs.fr/charte/> ³. [https://www.cnrs.fr/sites/default/files/pdf/Charte de déontologie.pdf](https://www.cnrs.fr/sites/default/files/pdf/Charte%20de%20deontologie.pdf) ⁴. La « saisine » se fait par message électronique à l'adresse du référent, pour un échange si possible dans les 72 heures.



▲ Joël Moret-Bailly,
référent déontologue
du CNRS.

reconnue. Pour autant, il existe des limites de droit commun à cette liberté – par exemple les lois mémorielles, la répression de la diffamation ou de l'injure. L'agent public a par ailleurs une obligation de réserve qui a pour objet de l'inciter à observer une retenue dans l'expression de ses opinions, notamment politiques, sous peine de s'exposer à une sanction disciplinaire.

D'après l'article L952-2 du Code de l'éducation, si le chercheur n'est pas objectif, cela constitue une violation d'une obligation du chercheur, y compris dans l'espace public. Ce qui sous-entend que s'il exprime une opinion personnelle, il faut qu'il le mentionne. L'article 3 de la Charte française de déontologie des métiers de la recherche concernant la communication précise : « La liberté d'expression et d'opinion s'applique avec une obligation de réserve, de confidentialité, de neutralité et de transparence des liens d'intérêt. Le chercheur exprimera à chaque occasion à quel titre, personnel ou institutionnel, il intervient et distinguera ce qui appartient au domaine de son expertise scientifique et ce qui est fondé sur des convictions personnelles. » Cet article précise également que la communication sur les réseaux sociaux est soumise aux mêmes règles.

Cette exigence a aussi été rappelée par le Comité d'éthique (Comets) du CNRS...

J. M.-B. En effet, le Comets a récemment approuvé une recommandation sur les droits et devoirs des chercheurs et chercheuses intervenant dans l'espace public, indiquant que « *en s'exprimant dans l'espace public, le chercheur engage sa responsabilité de scientifique. S'il fait ou est fait état de sa qualité, le chercheur qui intervient dans l'espace public doit préciser à quel titre il prend la parole : en spécialiste apportant son expertise sur le sujet débattu, en tant que représentant de l'organisme de recherche ou d'une institution, ou à titre de citoyen engagé voire de militant.* »

“Un référent déontologue n'a pas de pouvoir de sanction ou d'action, son rôle est de donner un avis, un conseil.”

Cette recommandation du Comets, tout comme l'article 3 de la Charte nationale de déontologie des métiers de la recherche pointent l'importance de la nécessité de préciser le type de discours que tient le chercheur ou la chercheuse.

Si un chercheur ou une chercheuse du CNRS contrevient à ces règles, quelles sont les conséquences ?

J. M.-B. Les sanctions peuvent être pénales si un chercheur viole de telles règles, par exemple les lois mémorielles, où les règles relatives aux diffamations et injures. Il existe également des sanctions disciplinaires si l'institution considère que le chercheur a violé les règles internes. Sur la base d'un processus interne, le PDG (qui peut seul prononcer un avertissement ou un blâme) peut saisir la Commission administrative paritaire (CAP) qui, après audience, peut notamment décider d'une suspension, d'une rétrogradation ou encore d'une éviction de la fonction publique.

Par-delà ces sanctions juridiques, la plus grave reste cependant celle de la communauté scientifique, dont les règles déontologiques non écrites entraînent des réactions sociales pouvant être intransigeantes – par exemple en termes de mise à l'écart d'activités collectives, ou encore de carrière, face à un comportement jugé inapproprié. ||

Jean Dalibard, un physicien dans la lumière

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

MATIÈRE

ÉVÉNEMENT Brillant physicien, spécialiste reconnu des atomes froids, un domaine au cœur de l'interaction entre matière et lumière, Jean Dalibard est le lauréat de la médaille d'or du CNRS 2021.

« **C**e bâtiment a accueilli le premier cyclotron français, un accélérateur de particules qui fut construit dans le Laboratoire de chimie nucléaire dirigé par Frédéric Joliot-Curie. » Dans son bureau du Collège de France, Jean Dalibard aime narrer les exploits de ses illustres prédécesseurs. Physicien au Laboratoire Kastler Brossel¹ (LKB), membre de l'Académie des sciences et titulaire de la chaire Atomes et rayonnement depuis 2013, cet explorateur du monde quantique est le lauréat 2021 de la médaille d'or du CNRS. « *Il s'agit là d'une récompense unique, qui résulte du jugement de personnes avec qui je partage la même méthode, les mêmes valeurs : la démarche scientifique, le doute et la confiance qui la soutiennent* », énonce-t-il avec humilité.

Durant toute sa carrière, dont trente années passées au CNRS, Jean Dalibard, chercheur et enseignant passionné, s'est distingué par l'originalité de son approche mêlant théorie et expériences. Ses travaux pionniers ont permis des avancées considérables en physique atomique, là où la lumière peut agir sur la matière. Il est à l'origine, entre autres, du développement de technologies quantiques tel le piège magnéto-optique pour atomes froids. On lui doit également les toutes premières expériences sur les tourbillons quantiques dans les gaz d'atomes froids, des objets qui défient l'intuition...

Au bon endroit au bon moment

D'autant qu'il se souvienne, Jean Dalibard a toujours voulu faire de la science. Né en 1958, son enfance sera particulièrement marquée par le moulin de son grand-père, meunier, dont aujourd'hui encore il se rappellerait presque chaque engrenage ; et par le jour où l'homme a posé un pied sur

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

la Lune, le 20 juillet 1969 : « *J'aurais voulu être dans la salle de contrôle de la Nasa. Je rêvais moins de marcher sur la Lune que de construire ces machines qui y ont envoyé des hommes.* »

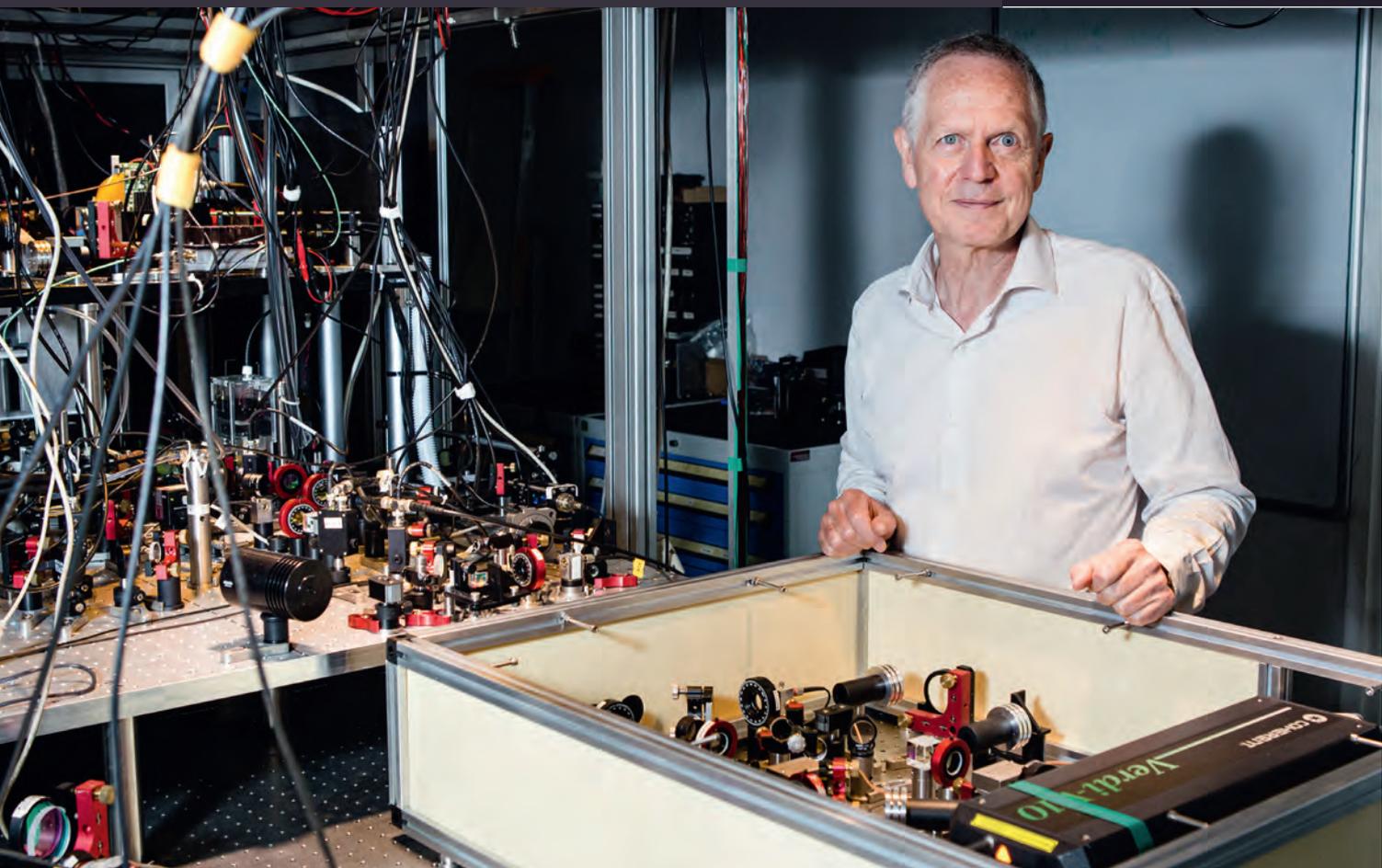
Ce sont d'abord ses professeurs de lycée qui lui ont transmis le goût de la physique. S'en est suivi un parcours « classique » : l'École normale supérieure et l'université Paris VI où il ira jusqu'à l'agrégation de physique, obtenue en 1981. À cette époque, il n'est pas encore certain de se lancer dans une carrière académique. Mais, se souvient-il, « *tout s'est déroulé de manière naturelle. Ma thèse, sous la direction de Claude Cohen-Tannoudji², mon entrée au CNRS en 1982, mes premiers pas à l'Institut d'optique dans l'équipe d'Alain Aspect (médaille d'or du CNRS 2005), un poste de chargé de cours à l'École polytechnique puis de professeur à partir de 2003. On peut dire que j'ai eu la chance d'être – souvent – au bon endroit au bon moment* », s'amuse-t-il.

Ce froid qui vient de la lumière

Jean Dalibard a eu la chance d'assister – et de contribuer – à l'éclosion d'un tout nouveau champ de recherche : les atomes froids. Autrement dit, il s'agit de parvenir à manipuler et contrôler de manière très fine le mouvement des atomes – du gaz – avec de la lumière – des lasers. Étudier certaines propriétés exotiques ou mesurer de manière ultra-précise le temps (en construisant des horloges atomiques) sont quelques-unes des applications possibles du refroidissement des atomes. Mais à l'époque, c'est un champ de recherche encore balbutiant. La toute première observation d'un ion piégé et refroidi, puis une conférence de Claude Cohen-Tannoudji en 1979 achèveront de convaincre le physicien de s'engager dans cette nouvelle discipline. « *C'était une belle aventure scientifique à mener, pensait-on à l'époque, pour quelques années*, raconte-t-il. *A posteriori, on se rend bien compte qu'on ne connaissait qu'une infime partie de ce nouveau champ de recherche...* »

En 1986, Jean Dalibard pose lors d'une conférence à Helsinki (Finlande) les principes du piège magnéto-optique – un dispositif depuis devenu standard dans les laboratoires du monde entier. Dans la même période, il invente avec Claude Cohen-Tannoudji un nouveau mécanisme de refroidissement.

1. Unité CNRS/Sorbonne Université/ENS Paris/Collège de France. 2. Lauréat de la médaille d'or du CNRS 1996 et du prix Nobel de physique 1997 avec Steven Chu et William Daniel Phillips.



© FÉDÉRIQUE PLACIDIANIS PHOTO THÈQUE

dissement des atomes par laser, l'effet Sisyphé : les atomes sont placés dans une situation où ils doivent sans cesse gravir des collines de potentiel créées par la lumière. Rapidement, leur énergie diminue jusqu'à ce qu'elle devienne trop faible pour atteindre le sommet suivant. « Nos particules terminent leur course quasiment immobiles, confinées dans des cages de lumière dessinées par l'onde lumineuse », explique-t-il. Dès lors, le physicien ne cessera de jouer avec la lumière et la matière, pour lui « l'essentiel du monde physique ».

Pour aller (toujours) plus loin, dans les années 1990, il met au point avec ses collaborateurs une nouvelle approche, la méthode théorique des fonctions d'onde Monte Carlo, également appelées « trajectoires quantiques », qui est utilisée par de nombreux chercheurs pour simuler le comportement de systèmes d'atomes et de photons dans des situations expérimentales variées.

Modéliser des systèmes complexes

Au début des années 2000, toujours au LKB, Jean Dalibard se lance avec son équipe dans l'étude des condensats de Bose-Einstein gazeux à travers l'observation de tourbillons quantiques dans les gaz d'atomes froids quand ceux-ci sont mis en rotation. Il étudie, encore aujourd'hui, ces vortex quantiques, leurs formes, leurs dynamiques. L'une de ses plus grandes joies est d'avoir été parmi les premiers à pouvoir observer ces tout nouveaux phénomènes, « de la très belle physique », selon lui. Désormais, il s'intéresse aussi à la simulation de problèmes quantiques hors de portée des

▼ Jean Dalibard devant la table optique d'une salle d'expérimentation du Laboratoire Kastler Brossel, le 16 juin 2021.

calculs actuels. L'idée est d'établir un parallèle entre ces problèmes de haute complexité, par exemple le mouvement d'électrons dans un solide, et le mouvement des atomes froids dans le paysage créé par la lumière. Du fait de leurs dimensions caractéristiques qui permettent de visualiser les atomes individuellement, les physiciens cherchent donc, assure Jean Dalibard, à utiliser ces gaz d'atomes ultra-froids comme de véritables simulateurs quantiques.

Au-delà de la science

Notre échange s'achève pendant que ses étudiants installent minutieusement une toute nouvelle expérience. Signe qu'ici aussi, l'activité a repris ses droits après une année difficile. La crise du Covid-19 a été pour Jean Dalibard l'occasion de se consacrer pleinement à ses travaux : « L'impact sur la recherche n'a pas été entièrement négatif. Le développement des conférences en ligne nous a permis par exemple de constituer une banque de données de connaissances scientifiques, accessible à tous et complètement inédite ».

Pour conclure, le lauréat, qui a enseigné et communiqué au grand public sa passion de la physique pendant plus de trente ans, tient à souligner deux points qui lui tiennent à cœur : la faible proportion de femmes dans sa discipline, un manque qui « prive d'un grand nombre de cerveaux nos laboratoires » et l'enseignement scientifique à l'école, « le parent pauvre de l'éducation », regrette-t-il. Car pour lui, au triptyque lire, écrire et compter, devrait s'ajouter « raisonner », et l'activité scientifique est un terrain de jeu idéal pour exercer son raisonnement. ||

Une récompense pour les passeurs de science

ÉVÉNEMENT Découvrez les premiers lauréats de la médaille de la médiation scientifique du CNRS. Cette toute nouvelle distinction, soutenue par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, récompense des femmes et des hommes qui mettent la science au cœur de la société.

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Jean-Michel Courty

Le physicien tout terrain

Tout au long de sa carrière, Jean-Michel Courty, normalien, professeur de physique à Sorbonne Université et chercheur au laboratoire Kastler Brossel¹, s'est attaché à explorer les multiples facettes du métier d'enseignant-chercheur : produire de nouvelles connaissances, transmettre le savoir et diffuser largement les connaissances scientifiques.

Spécialiste du domaine de l'optique quantique et de l'étude des fluctuations quantiques de la lumière, il donne à voir la physique dans ce qu'elle a de plus accessible à travers une activité intense. Depuis janvier 2001, il tient avec Édouard Kierlik la chronique mensuelle « Idées de Physique » dans la revue *Pour la Science*, où ils dévoilent les lois de la physique à travers des phénomènes simples que l'on peut observer ou reproduire avec des objets du quotidien. De 2007 à 2021, il s'est investi en tant que chargé de mission dans la communication scientifique à l'Institut de physique (INP) du CNRS. Lors du premier confinement, il a lancé avec sa femme sa propre chaîne YouTube, *Merci la physique*. Ni mode d'emploi fastidieux ni leçon de physique, en allant chercher l'incroyable dans le banal, il répond aux innombrables « pourquoi » de la vie de tous les jours.

1. Unité CNRS/Sorbonne Université/ENS Paris/Collège de France.



Audrey Dussutour

La spécialiste du blob

Audrey Dussutour a toujours été fascinée par les sciences : la physique, l'astrophysique, la biologie mais surtout, l'éthologie. Durant ses études à Toulouse, elle découvre l'intelligence collective dont sont capables les insectes sociaux. Entrée au CNRS en 2009, au Centre de recherches sur la cognition animale¹ où elle est aujourd'hui directrice de recherche, elle rencontre le blob, ou *Physarum polycephalum*, un organisme unicellulaire aux capacités remarquables. Elle va alors mettre sa pratique expérimentale et ses savoirs au profit d'actions de médiation – plus de 200 au cours de sa carrière – qui portent sur le comportement

des fourmis et du blob. En 2017, elle publie son premier ouvrage, *Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le blob sans jamais oser le demander*. Entré au zoo de Paris en 2019, le blob a également rejoint Thomas Pesquet à bord de l'ISS au mois de juillet. Le spatio-naute procédera à différentes expériences qui seront aussi réalisées sur Terre par des milliers d'élèves en octobre, avec le concours du Cnes et du CNRS, pour le projet #Élèvetonblob. Et en 2022, pour l'Année de la biologie, Audrey Dussutour compte bien élargir le projet en impliquant les Ehpad ou encore les prisons.

1. Unité CNRS/Univ. Toulouse III Paul Sabatier.



Festival international Jean Rouch

L'anthropologie sur grand écran

Fondé en 1982 par l'ethnologue-cinéaste Jean Rouch (1917-2004), père de l'anthropologie visuelle, ce festival international est l'une des plus importantes manifestations européennes de cinéma documentaire en sciences humaines et sociales (SHS). Organisé chaque année à Paris par le Comité du film ethnographique, il permet de découvrir des filmographies, des chercheurs-cinéastes, des courants et des tendances en SHS à travers les films documentaires actuels et du patrimoine ethnographique, issus notamment du fonds de CNRS Images. Plus de 70 films y sont programmés en compétition internationale ou en séances thématiques et

huit prix sont décernés. Le festival est aussi l'occasion d'inviter tous les publics à débattre des grands enjeux de société autour de la diversité, de l'interculturalité ou encore de la biodiversité. Chaque projection est suivie d'un temps de discussion et de médiation, animé par des scientifiques, des cinéastes et les organisateurs. Historiquement basé au musée de l'Homme, le festival est désormais hébergé par le musée du quai Branly - Jacques Chirac avec lequel il noue un partenariat ambitieux pour toucher un public encore plus large.



ClimaTicTac

Un jeu écoresponsable et coopératif

Inspiré par l'Accord de Paris sur le climat, ClimaTicTac a été imaginé par un collectif d'une quinzaine de chercheurs, de doctorants et de médiateurs scientifiques de l'Institut Pierre-Simon Laplace¹ et de l'Association Science Technologie Société. À l'initiative de deux climatologues du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement², Valérie Masson-Delmotte et Gilles Ramstein, le collectif s'est attaché à développer un outil de médiation ludique et non anxiogène sur le changement climatique, qui vise en particulier les jeunes générations. Jeu coopératif de

plateau, ClimaTicTac permet de faire prendre conscience du caractère global et collectif du problème et de sa gestion à court et long termes. Les joueurs sont ainsi appelés à se concerter pour optimiser leurs actions et leurs chances de gagner la partie. Diffusé dans un premier temps au sein d'établissements scolaires franciliens, le jeu a été adapté par l'éditeur Bioviva et mis en vente à la rentrée 2021.

1. CNRS/École polytechnique/Univ. Versailles Saint-Quentin/CEA/Sorbonne Université/IRD/École des ponts ParisTech/Univ. Paris-Saclay. 2. Unité CNRS/Univ. Versailles Saint-Quentin/CEA.

Mathieu Vidard

Les bonnes ondes de la science

En 2007, un an tout juste après le lancement de son émission *La Tête au carré*, Mathieu Vidard reçoit Albert Fert, chercheur au CNRS, père de la spintronique et lauréat du Nobel de physique la même année. C'est pour le journaliste une confirmation : la radio est le vecteur idéal pour engager le dialogue et créer des liens entre scientifiques et auditeurs. Pendant 13 ans, l'émission de France Inter donnera chaque jour la parole aux chercheurs, écoutée par près de 800 000 auditeurs. Mathieu Vidard ne cesse alors de multiplier les projets : en 2008, il publie son premier ouvrage, *Abécédaire scientifique pour les curieux* ; à partir de 2010, il présente sur

France 2 *J'ai marché sur la Terre*, une série documentaire où il part à la rencontre de scientifiques à travers le monde. En 2017, c'est la Science grand format sur France 5 ; en 2019, son émission radio prend un virage : *La Terre au carré* se consacre désormais au climat et à l'écologie. À la rentrée 2020, il lance un tout nouveau podcast à destination du jeune public, *Olma*, une machine imaginaire qui se nourrit de toutes les connaissances du monde. Une nouvelle manière, pour le lauréat du prix spécial de la médiation scientifique, de communiquer sa passion de la science.



Sorina Pop booste l'imagerie médicale

NUMÉRIQUE

PORTRAIT Elle s'est lancé un défi de taille : améliorer la reproductibilité des résultats scientifiques dans le domaine de l'imagerie médicale. Sorina Pop, experte en ingénierie logicielle et responsable de la plateforme VIP, est lauréate de la médaille de cristal du CNRS 2021.

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

« **L'**informatique est un outil extraordinaire pour le développement d'une science plus ouverte et plus reproductible », confie Sorina Pop, lauréate de la médaille de cristal du CNRS 2021. Ingénieure de recherche au Centre de recherche en acquisition et traitement de l'image pour la santé¹ (Creatis), elle assume depuis 2016 la responsabilité de la plateforme VIP^{2,3}, pour Virtual Imaging Platform, un portail web de simulation et d'analyse d'images médicales. L'objectif, entre autres, est de répondre aux défis de la médecine personnalisée et prédictive de demain grâce à des outils essentiels pour la recherche biomédicale.

La simulation et l'analyse d'images médicales visent notamment à améliorer le diagnostic précoce des pathologies et leur traitement. Pour l'experte en ingénierie logicielle, « la simulation permet aussi de concevoir de nouveaux instruments d'imagerie, d'étudier des modèles du vivant mais également de fournir une "vérité terrain" pour évaluer des algorithmes d'analyse d'images ».

Artisan de la réussite de VIP

Mais en imagerie médicale comme dans de nombreux domaines, du fait de la complexité des algorithmes utilisés et des volumes de données de plus en plus importants à traiter, ces

outils peuvent être très gourmands en puissance de calcul. Pour répondre à ce besoin croissant (et obtenir des résultats dans des délais raisonnables), on fait appel au calcul distribué, la spécialité de Sorina Pop. Cette technologie permet – à l'image du cloud – d'exploiter à travers Internet de multiples ressources de calcul ou de stockage distantes, distribuées géographiquement mais reliées par un même réseau.

Créée en 2010, la plateforme VIP offre aux chercheurs du monde entier un écosystème de services ouverts pour la simulation et l'analyse d'images médicales. Elle connaît depuis un succès croissant et compte aujourd'hui plus de 1 300 utilisateurs enregistrés et une vingtaine d'applications. Les chercheurs peuvent ainsi lancer leurs logiciels de recherche en imagerie médicale à travers un simple navigateur web et sans avoir à maîtriser l'installation des outils.

Dans cet univers, Sorina Pop analyse les besoins et intègre dans VIP les logiciels envoyés par ses collègues, tels que le simulateur Gate⁴, qui permet d'estimer la dose d'un traitement du cancer par radiothérapie ou encore l'application Freesurfer⁵ pour la segmentation du

cerveau. Là, ses travaux se situent à l'interface des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et du vivant. « Cela implique beaucoup de relationnel, une grande partie d'ingénierie et une pointe de recherche », souligne l'ingénieure. « VIP fournit aussi des sujets de recherche dans le domaine informatique. Dans ce contexte, je travaille sur l'optimisation de différents aspects, tels que l'utilisation des ressources disponibles ou la gestion des fichiers répartis et répliqués sur des éléments de stockage distants », précise-t-elle.

Passionnée d'informatique

C'est lors de son projet de fin d'études dans un laboratoire public que Sorina Pop découvre le monde de la recherche. C'est un déclic. En 2007, elle obtient son diplôme d'ingénieure en télécommunications, services et usages à l'Institut national des sciences appliquées de Lyon (Insa) avant d'intégrer, la même année, le CNRS au laboratoire Creatis. Passionnée et exigeante, elle poursuit sa formation par un doctorat en informatique sous la direction d'Hugues Benoît-Cattin (aujourd'hui directeur adjoint de l'Insa Lyon) et Tristan Glatard

1. Unité CNRS /Inserm/Univ. Lyon 1/Insa Lyon 2. <https://vip.creatis.insa-lyon.fr> 3. L'équipe VIP compte aujourd'hui essentiellement Axel Bonnet, ingénieur de recherche qui a rejoint Creatis en 2016 et Sorina Pop. 4. <http://www.opengatecollaboration.org/> 5. <https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/> 6. <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2019/11/15/843193.full.pdf>



© ICHNEL POP

– aujourd’hui professeur à l’université Concordia, au Canada. Elle soutient sa thèse en 2013 qui porte sur l’« Exploitation d’infrastructures hétérogènes de calcul distribué pour la simulation Monte-Carlo dans le domaine médical. »

Pour Sorina Pop, cette distinction est l’aboutissement d’un travail avant tout collectif. « *Tristan Glatard, plus particulièrement, a initié le projet VIP et l’a mené jusqu’en 2016. C’est grâce à ce travail que j’ai pu continuer après son départ*, explique-t-elle. *Et même si la plateforme a aujourd’hui atteint une forme de maturité, nous allons continuer à lui apporter de nouvelles fonctionnalités* ».

ReproVip, son nouveau défi

Poursuivant l’idée d’une approche toujours plus « Fair » (pour facile à trouver, accessible, interopérable et réutilisable en français) pour l’analyse des données scientifiques, Sorina Pop s’est lancé un nouveau défi avec le projet ANR ReproVIP. Pour cause, depuis plusieurs années, de nombreux domaines de recherche font face à des problèmes de reproductibilité ; ainsi, certains résultats scientifiques ne peuvent

▼ Sorina Pop, ingénieure de recherche, est lauréate de la médaille de cristal du CNRS 2021.

pas être reproduits par d’autres chercheurs, car même en ayant accès aux algorithmes de traitement et aux données, il est difficile de reproduire un environnement d’exécution identique.

L’imagerie médicale n’est pas épargnée par cette crise méthodologique. « *Dans une récente étude⁶, l’analyse d’un même jeu de données en neuro-imagerie par 70 équipes indépendantes a révélé une variabilité substantielle entre les résultats rapportés* », déplore l’ingénieure. Avec ReproVip, elle souhaite garantir qu’un traitement produit le même résultat lorsqu’il est exécuté avec les mêmes entrées « *et qu’un chercheur puisse facilement reproduire, avec VIP, des résultats publiés par ses pairs* » ajoute-t-elle. « *L’étape suivante sera de permettre aux chercheurs de vérifier la reproductibilité des conclusions scientifiques de manière plus globale et même pour de nouvelles entrées* », conclut Sorina Pop. II

En bref



© CNRS

Valérie Hospital, directrice des affaires juridiques

Valérie Hospital a été nommée directrice des affaires juridiques (DAJ) du CNRS en juillet dernier. Directrice

adjointe de la DAJ depuis 2015, elle avait rejoint cette direction en 1999 au sein du pôle Accord, propriété intellectuelle, valorisation, pôle dont elle a pris la tête en 2009. Elle succède à Myriam Fadel.

Une nouvelle mission contre le racisme et l’antisémitisme

Le conseil scientifique de la mission de lutte contre le racisme et l’antisémitisme au CNRS a été installé le 15 septembre par Antoine Petit, PDG du CNRS.

Sa mission, sous l’égide de son référent Joël Moret-Bailly, consiste notamment à construire une base de données scientifique intégrant une forte dimension de vulgarisation, dans une logique d’*open science*, et accessible à tous. Elle manifeste également l’inscription du CNRS dans le débat public comme porteur des acquis et des débats scientifiques.



© CNRS DRA

Une nouvelle médiatrice au CNRS

Pascale Beyma, anciennement juriste d’entreprise, a été nommée médiatrice du CNRS à compter du 1^{er} juin 2021. La

médiatrice intervient « dans la prévention et la gestion des difficultés relationnelles et des conflits interpersonnels dans le cadre du travail qui, lorsqu’ils perdurent, entraînent de la souffrance ou de la démotivation au niveau individuel et des dysfonctionnements au niveau collectif ».

Nominations

Trois instituts
du CNRS ont changé
de direction ces
dernières semaines



© CYRIL FRÉSSILLON / CNRS PHOTO THEQUE



© CYRIL FRÉSSILLON / CNRS PHOTO THEQUE



© CYRIL FRÉSSILLON / CNRS PHOTO THEQUE

Marie Gaille

a été nommée directrice de l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS) à compter du 1^{er} septembre. Directrice de recherche au CNRS en philosophie, spécialiste des relations entre médecine, anthropologie et philosophie, elle mène ses recherches au laboratoire Sciences, Philosophie, Histoire (CNRS/Université de Paris). Elle a notamment exercé au sein de l'INSHS des responsabilités de directrice adjointe scientifique de 2015 à 2021, en charge des sciences philosophiques et philologiques ainsi que de la communication. Elle succède à François-Joseph Ruggiu.

Thierry Dauxois

Depuis le 1^{er} juillet, dirige quant à lui l'Institut de physique (INP). Directeur de recherche au CNRS, il mène ses travaux au Laboratoire de physique (CNRS/ENS de Lyon), qu'il a dirigé de 2012 à 2020. Son domaine : la physique non linéaire et la physique statistique, objets du Groupement de recherche CNRS « Phénix » qu'il a dirigé entre 2006 et 2010. Depuis 2020, il occupait le poste de vice-président recherche de l'ENS de Lyon, avant de succéder à Astrid Lambrecht à la tête de l'INP.

Depuis le 28 août,

Christophe Besse

est le nouveau directeur de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions (Insmi). Professeur à l'université de Toulouse III - Paul Sabatier, au sein de l'Institut de mathématiques de Toulouse (CNRS/Insa Toulouse/Univ. Paul Sabatier), Christophe Besse a mené des recherches orientées vers le calcul scientifique et le développement de méthodes numériques pour différents types d'équations. Il a notamment dirigé le laboratoire Paul Painlevé de 2010 à 2013 (CNRS/Univ. Lille) puis le Centre international de mathématiques et d'informatique de Toulouse. Il prend la suite de Pascal Auscher à la tête de l'Insmi.



Isabelle Longin

Une nouvelle déléguée à Paris Michel-Ange ...

Depuis le 1^{er} septembre, Isabelle Longin est la nouvelle déléguée régionale de la délégation Paris Michel-Ange. Précédemment directrice adjointe des ressources humaines au CNRS, elle remplace Hélène Maury qui était en poste depuis 2014.



Marjorie Fraisse

... ainsi qu'à la délégation Alpes

Marjorie Fraisse a été nommée aux fonctions de déléguée régionale de la circonscription Alpes du CNRS, à partir du 1^{er} juillet. Elle était jusqu'alors directrice générale des services adjointe ressources à l'université Grenoble Alpes.



© CNRS

Thomas Pesquet a réveillé le blob !

Le 2 septembre, dans le cadre de l'expérience éducative « Elève ton blob » du Cnes et du CNRS, l'astronaute français de l'ESA Thomas Pesquet a procédé au réveil des 4 *Phy-sarum polycephalum* arrivés cet été à bord de l'ISS. Après la nécessaire réhydratation, l'observation des 4 bobs spatiaux a duré 7 jours en orbite. L'expérience - réalisée grâce à l'implication d'Audrey Dussoutour, lauréate de la médaille de la médiation (lire p.10) - va se poursuivre sur Terre, du 11 au 17 octobre, dans plus de 4 500 établissements scolaires. Les élèves y appliqueront les mêmes protocoles que ceux réalisés par Thomas Pesquet dans l'espace, ils pourront observer le comportement du blob et comparer les résultats terrestres et spatiaux.

GRAND FORMAT



*Un hommage au grand penseur
Edgar Morin, une promenade imagée
en terres de science et un état des lieux
utile sur l'épidémie de sida.*

A close-up portrait of Edgar Morin, an elderly man with a friendly expression, wearing a light-colored shirt and a red patterned scarf. The background is dark.

À 100 ans, Edgar Morin poursuit sa voie

L'intellectuel le plus célèbre de France a fêté jeudi 8 juillet son centième anniversaire. Et huit décennies d'un parcours scientifique atypique, mû par l'immense ambition de faire dialoguer les disciplines et d'explorer tous les points de vue.

DOSSIER RÉALISÉ PAR FRANCIS LECOMPTE

« **M**a vie, c'est un cheminement intellectuel au travers duquel ma pensée n'a cessé de se construire. Mais ce chemin n'a jamais été tracé et jamais ma pensée ne s'est trouvée achevée. Même encore aujourd'hui, elle reste inachevée. » Tout début juillet, alors qu'il s'exprimait à l'Unesco au terme d'une intense semaine d'hommages et de cérémonies, son regard gourmand parlait pour lui : à cent ans, Edgar Morin reste plus curieux et impatient que jamais de découvrir ce qui, demain, viendra encore le surprendre. Retour sur un parcours complexe où l'on croise aussi bien Kant que Staline, le football et l'écologie, la biologie et les faits divers...

Graine d'« humanologue »

La méthode Morin s'est dessinée, raconte-t-il, dès son adolescence, à l'époque où il s'appelle encore Nahoum. Entre la crise des démocraties et celle du capitalisme, l'arrivée d'Hitler au pouvoir et les procès de Moscou, « toutes les alternatives apparaissaient monstrueuses et, selon la formule de Kant, moi je me demandais : "que puis-je savoir, que puis-je croire, que puis-je espérer ?" ». C'est pour répondre à ces questions que le jeune bachelier, déjà engagé dans la politique par son soutien aux républicains espagnols, entre en 1939 à l'université où il étudie la philosophie, la psychologie, la sociologie, mais aussi l'histoire de la science politique à la faculté de droit. Transdisciplinaire déjà, avec l'ambition de devenir ce qu'il appelle un « humanologue », c'est-à-dire un penseur capable de comprendre ce qu'est l'humain en rassemblant tous ces savoirs.

Influencé aussi par Marx et sa volonté de comprendre les sociétés, leur histoire, leur développement économique et leur avenir, l'étudiant Nahoum devient le résistant Morin avant d'entreprendre sa première enquête dans l'Allemagne occupée. Comme il l'évoque dans son récent livre de souvenirs, *Leçons d'un siècle de vie* (Denoël, 2021), c'est un étonnement face à un phénomène complexe qui le conduit à faire ce travail : comment la nation la plus cultivée d'Europe a-t-elle pu devenir la plus barbare de toutes ? L'interrogation deviendra un livre, le premier d'une longue série, une bonne centaine, *L'An zéro de l'Allemagne* (Éditions de la Cité Universelle, 1946), où le sociologue en herbe cherche à comprendre ce qui se passe dans la tête de ces gens qui ont cru en Hitler et ne croient plus désormais en rien.

Mais ce n'est pas encore tout à fait le début d'une carrière, puisque c'est un Edgar Morin au chômage qui passera deux années dans les bibliothèques à rassembler du matériel de connaissance pour écrire *L'Homme et la Mort* (Corréa, 1951), qui reste, à ce jour, son ouvrage le plus vendu dans le monde. Pour le sociologue Claude Fischler, directeur de recherche au CNRS, « ce livre apparaît comme un modèle, comme le prototype du travail de Morin, avec son côté interdisciplinaire fondamental, puisqu'il s'intéresse à la biologie, à l'histoire, aux mythes, etc. et interroge en même temps toute la complexité face à la mort ».

Comment comprendre, s'interroge en effet Edgar Morin, que la mort puisse inspirer l'horreur, mais que nous soyons prêts à donner notre vie pour nos enfants, notre famille, notre patrie... ? Il explique, dans sa conférence, comment cette longue recherche lui a fait prendre ses distances par rapport à Marx en découvrant que « l'imaginaire, le mythe, les croyances ou les religions ont autant de réalité que le monde matériel et économique. En réalité, la dialectique est comme une roue qui passe de la matière et de l'économie à l'esprit et à l'imagination ou au mythe... »

Alors qu'il travaille à cet ouvrage, en 1950, le CNRS lui propose un poste. « Une chance formidable », insiste-t-il lors d'un récent échange, car l'institution, si elle le met dans la case sociologie, lui laisse une entière liberté (lire p. 21). Tout de suite, Edgar Morin navigue entre plusieurs disciplines. Aucun sujet d'étude n'est méprisables, chaque enquête engendre sa propre méthode. Totale liberté de ses mouvements, il devient le marcheur chanté par le poète espagnol Antonio Machado pour qui « le chemin se fait en marchant ».

Penseur complexe et visionnaire

La voie n'est pas tracée d'avance, mais elle s'organise autour de quelques pratiques qui, toute sa vie, guideront le chercheur dans l'élaboration de sa pensée complexe. À commencer par le pas de côté.



Durant la Seconde guerre mondiale, l'étudiant Nahoum, son nom de naissance, devient le résistant Morin (à droite). Ici à Toulouse en 1943.

“Le pas de côté, c’est ce changement de point de vue sur le monde complexe, qui enrichit votre perception des choses.”

Jérémi Sauvage, linguiste

« Le pas de côté, c’est ce changement de point de vue sur le monde complexe, qui enrichit votre perception des choses, commente Jérémi Sauvage, maître de conférences HDR en sciences du langage à l’université Paul-Valéry de Montpellier (laboratoire Lhumain) et membre du groupe Reliance et complexité. *L’objet de mes recherches est l’acquisition du langage chez l’enfant*, explique-t-il. *C’est un fait complexe, que je dois aborder comme tel, sans chercher à le rendre binaire, même si cela ne m’arrange pas. Comment ? En faisant ce pas de côté, c’est-à-dire en changeant de point de vue, en prenant en compte les sciences du comportement, la psychanalyse... en un mot, en sortant de ses propres données.* »

Pour Edgar Morin, cette confrontation des points de vue passe beaucoup par la réunion de chercheurs et de scientifiques venus de disciplines multiples, où tous s’entre-éduquent les uns les autres. Dans sa biographie intellectuelle, il épingle ainsi comme une date décisive le colloque de Royaumont, en 1972, autour de « l’Unité de l’homme ». Cette année-là, il réunit avec Jacques Monod une trentaine de biologistes, médecins, anthropologues, historiens et psychologues pour réfléchir sur les « invariants biologiques et universaux culturels ».

Quelques années plus tôt, il avait aussi pris part à un Groupe des Dix, fondé sur le même principe de réunion transdisciplinaire, où, au contact de cybernéticiens, il avait découvert la notion de boucle rétroactive, fondamentale à ses yeux puisqu’elle remet en cause le principe, considéré longtemps comme irréductible, de cause à effet. Royaumont, c’est aussi une période où la paléontologie recule de manière spectaculaire les origines de l’Homme et où le fossé, qu’on estimait abyssal entre le monde animal et le monde humain, se réduit considérablement : présents au colloque, les époux Gardner décrivent comment ils ont réussi à faire parler à des chimpanzés le langage des sourds-muets.

De Royaumont naîtra le livre *Le Paradigme perdu : la nature humaine* (Seuil, 1973), où Edgar Morin développe sa conception trinitaire de l’humain, où l’individu, l’espèce et la société sont les trois éléments qui constituent celui-ci de manière inséparable : l’individu lui-même est à la fois à l’intérieur de la société, mais la société, avec sa culture, avec son langage, est à l’intérieur de l’individu ; l’individu est à l’intérieur de l’espèce, mais l’espèce avec l’ADN est présente dans l’individu. Au passage, il n’hésite pas à remettre en cause le dogme darwinien de l’évolution par la seule sélection naturelle, attaché qu’il est à comprendre comment d’autres

mécanismes, la culture par exemple, peuvent interagir dans ce processus d’évolution.

Le biophysicien Massimo Piatelli-Palmarini, devenu biologiste et professeur en sciences cognitives à l’université de Tucson, en Arizona, était présent à Royaumont et s’est trouvé, par la suite, au cœur des débats, parfois très violents, sur le néodarwinisme. Il rend aujourd’hui justice à Edgar Morin, car « *dès cette époque, il avait non seulement entrevu comment la biologie allait se développer, mais il avait aussi parfaitement raison de nous mettre en garde contre ce principe darwinien de sélection naturelle du meilleur. Il avait raison en soutenant que l’évolution n’est pas liée exclusivement à la sélection, que d’autres mécanismes y sont à l’œuvre.* »

Audace et sujets « illégitimes »

À demi-mot, le chercheur italien salue aussi son courage, que tous n’ont pas eu, de s’attaquer à des principes aussi consensuels. Mais l’audace, c’est un autre trait qui a toujours guidé le chercheur Edgar Morin. « *Il a toujours eu le courage d’aller au bout de ses apprentissages et de ses ruptures, jusqu’à pouvoir les conceptualiser en une expérience formatrice*, applaudit Anne Lieutaud, chercheuse au Centre d’études et de recherches appliquées en psychopédagogie perceptive, au Portugal. *Cette audace m’a donné l’assurance et l’enthousiasme de l’aventure, lorsque je suis moi-même passée des sciences exactes – les sciences de l’environnement et de l’ingénieur – aux sciences qualitatives.* »

L’audace de transgresser les frontières entre des disciplines cloisonnées, mais aussi celle d’aller sur tous les terrains – le cinéma, pour commencer, avec *Le Cinéma ou l’homme*

Il n’y a pas de sujet « illégitime » pour Edgar Morin, qui réalise en 1960 le film *Chronique d’un été* avec Jean Rouch (à gauche) et Marceline Loridan-Ivens.



imaginaire (Éditions de Minuit, 1956), à une époque où les intellectuels le méprisaient, n'y voyant qu'une pure aliénation, et la culture de masse en général. Claude Fischler, qui a participé à plusieurs enquêtes avec lui, n'en revient toujours pas. « *Jeune étudiant, j'étais absolument ravi et même fasciné qu'il puisse se passionner pour le football ou pour les jeux télévisés, se souvient-il. Et quand je lui faisais remarquer qu'il ne fallait pas trop raconter aux collègues qu'on regardait la Coupe d'Europe, il me répondait: "pour comprendre la culture de masse, il faut vraiment la vivre soi-même".* »

D'autres sujets « illégitimes » aux yeux de la recherche académique suivront : le film *Chronique d'un été*, avec Jean Rouch, en 1961 ; *La Métamorphose de Plozévet* (Fayard, 1967), livre où l'observation minutieuse de cette petite commune bretonne sert à révéler les métamorphoses profondes de toute la société française d'après-guerre ; ou encore, deux ans plus tard, *La Rumeur d'Orléans* (Seuil, 1969) – une rumeur, nourrie d'antisémitisme, avait couru dans la ville sur des enlèvements de jeunes filles dans des magasins de vêtements par un réseau juif de prostitution internationale. Atypiques, ces enquêtes n'en ont pas moins été dirigées de manière très rigoureuse, témoigne encore Claude Fischler. « *À Plozévet, Morin est sur le terrain pendant des mois, c'est lui qui mène les interviews et qui pousse les gens, de manière même un peu directive. À Orléans, il donne des consignes très strictes aux chercheurs qui l'accompagnent, comme l'année suivante, pour La Rumeur d'Amiens...* »

Éloge de la critique

Parmi ces directives : l'obligation pour chacun de tenir un journal d'enquête. Car c'est l'une des autres idées clés du travail d'Edgar Morin : la nécessité de prendre en compte la subjectivité. « *Tenir un journal d'enquête, poursuit Claude Fischler, c'était fondé sur l'idée que, loin de tenir à l'écart la subjectivité pour pouvoir soi-disant observer objectivement les phénomènes, il fallait au contraire l'intégrer à la réalité via ce journal, pour mieux prendre conscience, par l'autoexamen, par l'autocritique, de la manière dont elle pouvait interférer sur notre vision du réel.* » Cette exigence d'autocritique restera attachée à toute la vie et l'œuvre du penseur. De manière factuelle, d'abord, quand il publie un ouvrage sous ce titre (*Autocritique*, Seuil, 1959) dans lequel il rompt officiellement avec le communisme mais, surtout, s'interroge sur les raisons qui l'ont poussé à se tromper pendant ses six années d'adhésion au parti. Dans la foulée, il fait de cet autoexamen un exercice permanent de ses propres recherches et en appelle à tous les chercheurs pour qu'ils en fassent autant.

Le politologue et directeur de recherche à Sciences Po Paris, Gil Delannoi, est l'un de ceux qui l'ont entendu : « *Morin a*

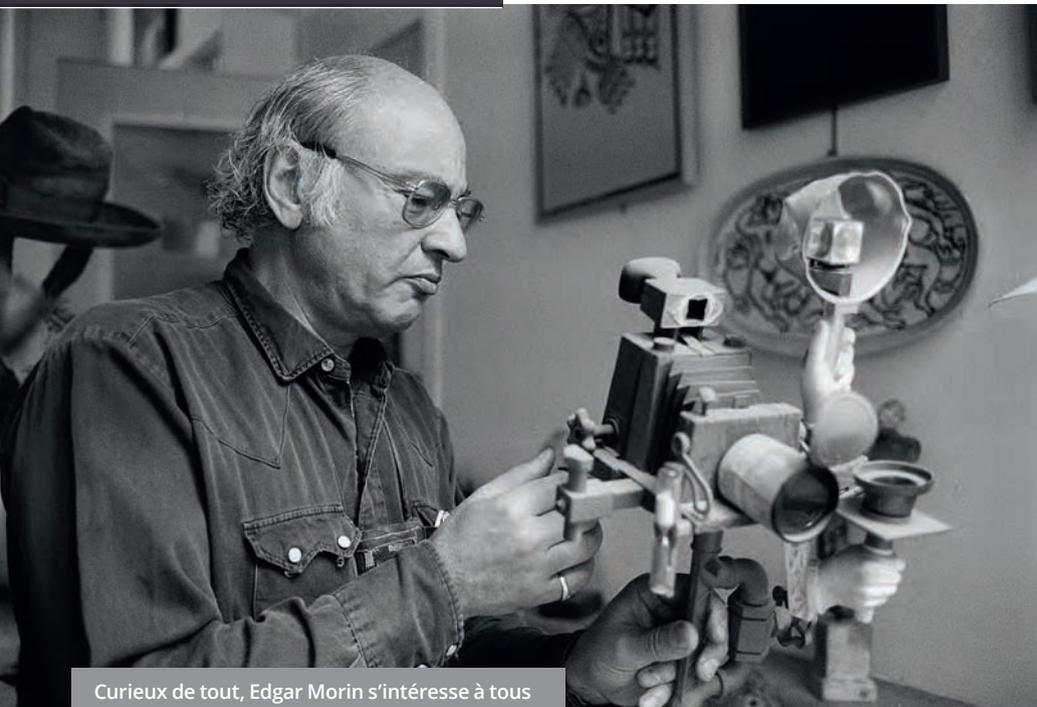


Affiche du film *Chronique d'un été*, sorti en 1961.

non seulement sauvé l'idée même d'autocritique, dans le sens où il l'a délivrée de l'abjection attachée à ce terme depuis les dictatures communistes, souligne-t-il. L'autocritique, ce n'est pas l'auto-accusation qui a cours dans des régimes totalitaires. Mais il l'a aussi portée, et je lui en suis reconnaissant, dans un sens poppérien – Popper a posé le principe de réfutabilité comme la condition de toute théorie scientifique – et dans son rapport à double nature, solide parce que fragile, à la science. »

“Il a toujours eu le courage d'aller jusqu'au bout de ses apprentissages et de ses ruptures, jusqu'à pouvoir les conceptualiser en une expérience transformatrice.”

Anne Lieutaud, chercheuse en psychopédagogie



Curieux de tout, Edgar Morin s'intéresse à tous les modes de communication (ici, en 1980)

© SOPHIE BASSOULS/LEPAGE

Gil Delannoi explique encore comment cette notion d'autocritique conduira Edgar Morin à distinguer la doctrine, qui est une sorte de blindage ne laissant aucune place à la contradiction, de la théorie, toujours ouverte à de nouveaux arguments. « *On peut exiger de tout intellectuel qu'il soit intelligent, conclut le politologue, mais il faudrait exiger aussi qu'il soit curieux, comme Morin peut l'être de manière insatiable pour toutes les données. Il se dit sous-marrane comme Montaigne, avide de connaissances, mais toujours critique. Je dirais qu'il est aussi fils de Rabelais, avec un désir de s'enivrer littéralement de connaissances.* »

“On peut exiger de tout intellectuel qu'il soit intelligent, mais il faudrait exiger aussi qu'il soit curieux, comme Morin peut l'être de manière insatiable pour toutes les données.”

Gil Delannoi, politologue

Fils de Rabelais, Edgar Morin pourrait l'être aussi par son amour de la vie et des autres. Cette notion a beau ne figurer dans aucun traité d'épistémologie ou de sociologie, sans la fraternité, son œuvre ne serait pas tout à fait pareille. Travailler, discuter, même polémiquer avec lui, c'est aussi être touché par sa bienveillance et glisser, souvent, dans

l'admiration, voire l'adoration, pour certains de ses suiveurs – pour ne pas dire de ses « fans ». C'est particulièrement vrai en Amérique latine où le penseur français jouit d'une très grande popularité. Au point, selon certains, de gêner toute approche critique de son œuvre. En Argentine, Leonardo Rodriguez Zoya enseigne la méthodologie de la recherche à l'université de Buenos Aires, et s'agace de cette « morinolâtrie » : « *Bien sûr, il faut embrasser Edgar et célébrer la vie, lance-t-il, mais il faut aussi critiquer ses idées pour les faire avancer ! Et c'est difficile, parce que l'Edgar ami nous fait souvent oublier le Morin penseur.* »

La voie de l'humain « amélioré »

Le maître lui-même, qu'en pense-t-il ? Même s'il reconnaît et apprécie tous ces témoignages d'admiration et d'affection, il peut aussi se montrer assez désabusé

sur l'influence de ce qu'il considère comme son œuvre majeure, *La Méthode* (Seuil, 1977-2004, 6 vol.). Dans cet opus de près de 2 000 pages, qui lui a demandé trente années de travail, Edgar Morin formalise ce qu'il estime être la bonne manière d'acquérir les connaissances, sonde en quelque sorte la connaissance de la connaissance, loin de la pensée binaire, du réductionnisme et de la compartimentation des sciences. En 1982, il a aussi publié *Science avec conscience* (Fayard) pour faire mieux connaître des philosophes des sciences comme Gaston Bachelard, Karl Popper ou Michel Serres que, dit-il, tous les chercheurs devraient lire. « *En vain*, regrette-t-il...

En clôture de sa conférence à l'Unesco, il rappelle que « *déjà dans les années 1930, Husserl avait montré que les sciences sont aveugles à elles-mêmes. Cela reste malheureusement d'actualité : les sciences ne réfléchissent pas sur elles-mêmes, elles ne voient que des objets isolés.* » Pire, de nouveaux mythes apparaissent. Le transhumanisme nous promet une immortalité illusoire, l'intelligence de s'occuper de tout, alimentant ainsi de nouveaux mythes. Au service de qui ? « *D'un homme augmenté*, regrette Edgar Morin, *à la recherche de toujours davantage de puissance, de profit et de contrôle, au détriment de la créativité et de la liberté.* » Mais une autre voie, forcément, est possible, celle d'un sursaut qui créerait une conscience de communauté de destin et utiliserait les possibilités merveilleuses des techniques pour améliorer nos vies, les relations humaines, l'éducation et la culture ou préserver notre environnement.

Non à l'humain augmenté, donc, vive l'humain amélioré. « *Mais attention, il ne s'agit pas de rêver à une autre société, il s'agit de savoir que nous sommes dans l'aventure humaine, où chaque chemin individuel se trouve dans un immense chemin commun, dont on ne peut pas prédire toutes les interactions.* » Edgar Morin a beau avoir fait preuve depuis des décennies d'un sens aigu de l'anticipation, il se refuse aux prophéties et voit toujours dans l'avenir une aventure incertaine – ce qui n'empêche pas les mises en garde. ■

Entretien

«La science du XX^e siècle a favorisé l'émergence de la complexité»



Au cours de sa longue carrière, Edgar Morin s'est intéressé à toutes les sciences, au-delà des seules sciences humaines. L'intellectuel nous livre, dans une interview fleuve, sa vision des ruptures majeures du siècle écoulé. Il nous raconte comment il a pratiqué son métier de chercheur, et ses liens avec la communauté scientifique.

Penseur, humaniste, philosophe... Comment peut-on vous définir ?

Edgar Morin. Quand on me demande ma profession, je ne répons ni sociologue ni philosophe, mais directeur de recherche au CNRS. Je trouve ce mot de chercheur superbe et je suis heureux de l'assumer dans le sens plein du terme. Au CNRS, la liberté dont j'ai pu jouir m'a essentiellement permis d'effectuer mon cheminement intellectuel. Une liberté que je dois, lorsque j'étais jeune chercheur, à la bienveillance des « patrons » influents de la commission de sociologie, dont Raymond Aron, Georges Friedmann mon « tuteur » et Pierre Naville. Ceux-ci avaient apprécié mon livre *L'Homme*

À l'Unesco, le 2 juillet 2021, à l'occasion de la cérémonie organisée pour son centième anniversaire.

et la Mort (Corréa, 1951) et m'avaient promu maître de recherches sans exiger de thèse, estimant que ce livre en était l'équivalent. Mes premiers thèmes de recherche sur la culture de masse, on dirait aujourd'hui médiatique, comme le cinéma et les stars, étaient dédaignés, mais tolérés. Plus tard, j'ai pu me mettre à *La Méthode* (Seuil, 1977-2004), mon travail de longue haleine, grâce au contrôle assez relâché de la commission, mais grâce aussi au concours d'un chercheur assistant rétribué par le CNRS. J'ajoute que, presque dès mes débuts au CNRS, j'ai pu bénéficier d'un assistant/secrétaire fourni par l'institution, d'un bureau et de facilités administratives.

Comment étiez-vous considéré par les autres chercheurs ?

E. M. En réalité, mes thèmes sociologiques, mais aussi ma façon de les traiter, ont été dédaignés par la majorité de la corporation des sociologues et mon *Plozévet* (Fayard, 1967), typiquement transdisciplinaire, a été attaqué par des pontes de la Délégation générale de la recherche scientifique (qui dépend du Premier ministre). Ceux-ci n'ont pourtant pas réussi à m'imposer un blâme scientifique – pour un travail qui méritait des félicitations. En réalité, je n'ai pu faire d'enquêtes de « sociologie du présent » comme *La Rumeur d'Orléans* (Seuil, 1969) que grâce à des subventions extérieures au CNRS. Enfin, bien que *La Méthode* fût apparue, soit comme une monstruosité du point de vue disciplinaire, soit comme une vulgarisation là où pour moi il y avait une nouvelle manière de penser, j'ai pu poursuivre ce travail tout au long de trente années sans être ni sanctionné ni félicité, néanmoins en toute liberté grâce au CNRS, que ce soit par bienveillance, tolérance ou négligence. J'ai surtout bénéficié de l'intérêt de François Kourilsky, directeur général de l'organisme de 1988 à 1994, pour mes idées sur l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité. Il m'avait aussi confié la direction et l'animation de Science et citoyens, des réunions d'échanges entre chercheurs et jeunes de tous pays sur des thèmes scientifiques importants. Par la suite, Catherine Bréchnignac fut favorable aux problèmes de complexité et à mes idées.

“Mes thèmes sociologiques et ma façon de les traiter ont été dédaignés par la corporation des sociologues de l'époque, comme mon Plozévet.”

À vos débuts, la sociologie était encore une discipline en construction...

E. M. Le centre d'études sociologiques des années 1950 était très créatif. Étant donné que l'école durkheimienne avait déjà dé péri, beaucoup de chercheurs venaient à la sociologie sans formation spécifique, en partant de leurs expériences et de leurs aspirations propres. Moi-même j'étais un communiste défrôqué, Henri Desroches était un prêtre défrôqué, Pierre Naville un trotskiste défrôqué... Mais il y avait aussi Paul-Henry Chombart de Lauwe, un ex-aviateur, qui introduisit chez nous la sociologie urbaine, Paul-Hassan Maucorps, un ex-navigateur qui nous fit connaître la sociométrie de Moreno, Alain Touraine, à l'origine historien, ou encore Lucien Brams, psychologue de formation – deux amitiés durables. Sans oublier Henri Mendras qui se lança dans la sociologie rurale. Tous, nous nous formions mutuellement et échangeons nos

expériences lors du séminaire de Friedmann qui portait sur la sociologie du monde du travail. Il n'y avait d'enseignement officiel de sociologie que dans les universités de Paris, Strasbourg et Bordeaux.

En dépit d'une tendance dogmatique au questionnaire à l'américaine, il se développa une grande diversité créatrice à laquelle contribuaient Michel Crozier ou Jean Duvignaud, sous la tutelle du grand sociologue de la connaissance Georges Gurwitsch, et Pierre Bourdieu sous la tutelle de Raymond Aron.



L'ouvrage *La Rumeur d'Orléans* (chroniqué ici dans le *Nouvel Observateur* en 1969) est typique des travaux de « sociologie du présent » d'Edgar Morin.

© ARCHIVES EDGAR MORIN / IMEC

Quel regard portez-vous sur l'évolution de cette discipline ?

E. M. Deux tendances auraient pu figer la sociologie : la prédominance dès l'origine du questionnaire et d'une connaissance principalement quantitative, et, d'autre part, la tentative d'hégémonie par appropriation abusive de la scientificité par Bourdieu.

En dépit de cela, la sociologie est devenue plurielle. Elle reste vivante, dans la mesure où elle sait que sa scientificité est limitée par sa nature complexe et par le fait que le sociologue fait partie de la nature sociale qu'il étudie ; le sujet chercheur doit toujours s'intégrer lui-même comme objet dans sa recherche de connaissance. Il doit cesser de siéger comme sur un trône céleste au-dessus du monde social alors qu'il en fait partie. Une de mes devises est : « *il n'y a pas de connaissance sans autoconnaissance* ».

Je ne peux pas juger de ce qu'il en est de ces dernières années, mais je pense que tout problème social important appelle une recherche interdisciplinaire, polydisciplinaire ou transdisciplinaire et ne doit jamais couper les ponts avec la réflexion philosophique ou politique. Pour ma part, j'ai pu contribuer, en présidant le comité du quotidien *Le Monde* attribuant chaque année un prix de la

recherche à cinq thèses, à encourager les recherches non closes qui montraient les interactions entre l'objet de la recherche et son contexte social ou historique.

Et comment jugez-vous l'évolution des sciences humaines en général ?

E. M. En sciences humaines, je relèverai surtout les multiples plongées dans l'inconscient humain dues à Freud, Jung, Rank, Ferenczi et autres. Et de façon concomitante, les plongées dans la Préhistoire qui, à partir des découvertes des paléontologues Louis et Mary Leakey jusqu'à Yves Coppens et Michel Brunet, révèlent le long et multiforme processus d'homínisation et réduisent l'énorme fossé entre singes et humains, encore un peu plus réduit par l'apprentissage du langage des sourds-muets à une jeune chimpanzé par le couple Gardner. Plus récemment, zoologistes, botanistes et écologues ont révélé que le monde végétal comme le monde animal avaient chacun une intelligence propre.

Votre réflexion a toujours englobé l'ensemble des sciences. Quels sont selon vous les faits marquants du siècle écoulé ?

E. M. Je crois qu'une nouvelle révolution scientifique, plus importante encore que la révolution copernicienne, a commencé avec la physique quantique et l'abandon du déterminisme comme loi suprême. La matière a cessé d'être la réalité de base de l'Univers pour faire place à l'énergie dont la matière est une des cristallisations, l'espace et le temps ont cessé d'être des absolus et peuvent être considérés comme des émergences propres à notre Univers.

La systémique et la théorie des systèmes complexes ont favorisé l'émergence du paradigme de la complexité, qui suscite une pensée fondée sur la distinction, la conjonction et l'intégration, en lieu et place de la disjonction, la fragmentation et la réduction. Elle permet de concevoir la complémentarité des antagonismes et d'affronter les contradictions comme le fit Bohr pour l'onde et le corpuscule – contradictions que nous

La méthode de *La Méthode*

« Je note dans des microfiches séparées une information, une donnée, un document, une référence, une idée, une réflexion concernant le problème que j'ai à traiter. Puis je réunis ces fiches par affinités, par thèmes. J'obtiens un certain nombre de thèmes majeurs et fais un premier plan pour la rédaction, et j'improvise en utilisant les fiches. Mais je modifie souvent ce plan en cours de rédaction, je l'interromps pour compléter une documentation. Bref, il se forme une nébuleuse spirale qui va se cristalliser progressivement en passant par un brouillon que j'imprimerai de mon ordinateur sur papier pour mieux le considérer et le corriger. Je peux, selon l'inspiration ou la difficulté, faire plusieurs brouillons de suite. Je sou mets mes drafts à lecture critique de compétents en la matière traitée. J'ai dû même refaire totalement la moitié du premier volume de *La Méthode* après les critiques d'un ami mathématicien. »



© FONDS EDGAR MORIN/IMEC

retrouvons souvent dans le champ des problèmes les plus complexes.

Le XX^e siècle est aussi marqué par une révolution dans l'approche de l'organisation physique et de l'organisation biologique, avec deux épisodes capitaux : l'élucidation de la structure de l'atome par Fermi dans les années 1930, et celle, dans les années 1950, de la double hélice d'ADN contenant le patrimoine héréditaire de tout le vivant.

Je situe entre ces deux dates la véritable révolution cognitive provoquée conjointement, dans les années 1940-1950, par la théorie de l'information de Shannon et Weaver, les travaux de Von Neumann différenciant la machine vivante de la machine artificielle, la cybernétique de Wiener, la théorie des systèmes de Von Bertalanffy, ou encore la défini-

tion de la complexité par Ashby. En même temps, en sont issues les conceptions de l'auto-organisation, ou plutôt l'auto-éco-organisation dont Von Foerster a été le plus génial initiateur.

Il faut citer aussi Prigogine, qui a complexifié le second principe de la thermodynamique en montrant que les phénomènes dissipatifs pouvaient conduire à de l'organisation, tandis que Brillouin introduisait l'idée de **néguentropie** pour comprendre l'organisation vivante, elle-même interrogée par Schrödinger.

Le second principe de la thermodynamique est devenu complexe avec Prigogine et Brillouin, car il ne conduit pas seulement à la désintégration : le désordre qu'il crée peut, dans certaines conditions, contribuer à des formations organisées ou organisa-

trices. Dès lors, ordre et désordre ne sont plus seulement antagonistes mais aussi complémentaires.

Ce changement de paradigme a aussi touché l'écologie, à laquelle vous vous êtes toujours beaucoup intéressé...

E. M. En effet, dans le même temps, les sciences de la Terre sont arrivées à mettre en interrelation leurs composants divers, de la géologie à la météorologie, et la science écologique a constitué, à partir du concept d'écosystème, une conception complexe de la biosphère où une organisation naît d'elle-même dans un milieu donné à partir des interactions physiques, végétales, animales, microbiennes. Et dès 1970, le scientifique écologiste Meadows a alerté sur les dégradations du monde naturel et humain sous l'effet du déchaînement incontrôlé du profit, de l'économie et de la technique.

Par ailleurs, la théorie darwinienne de l'évolution a été progressivement complexifiée en combinant solidarités et conflits, dérive génétique et autres modifications. Mais la créativité propre à l'organisation vivante lors de la reproduction, qui a suscité l'infinie variété des espèces, n'est pas encore reconnue. Certains croient que la créativité renvoie au créationnisme d'une intelligence supérieure alors qu'elle émane, de façon spinozienne, de la nature vivante elle-même.

Dans quelle mesure cette révolution a-t-elle été intégrée par la communauté scientifique ?

E. M. Les résistances sont énormes au cœur même des institutions scientifiques, où elles demeurent invisibles même à certains de ceux qui les adoptent *de facto*. Cette révolution reste donc malheureusement confinée depuis soixante-dix ans et n'a encore pénétré ni dans les sciences physiques et biologiques, ni dans les sciences humaines ou les humanités. J'ai pour ma part essayé d'intégrer les composantes diverses de cette révolution dans *La Méthode*, afin d'en recueillir les fruits et en tirer les conséquences. Cela m'a permis de formuler les principes d'une connaissance et

NÉGUENTROPIE

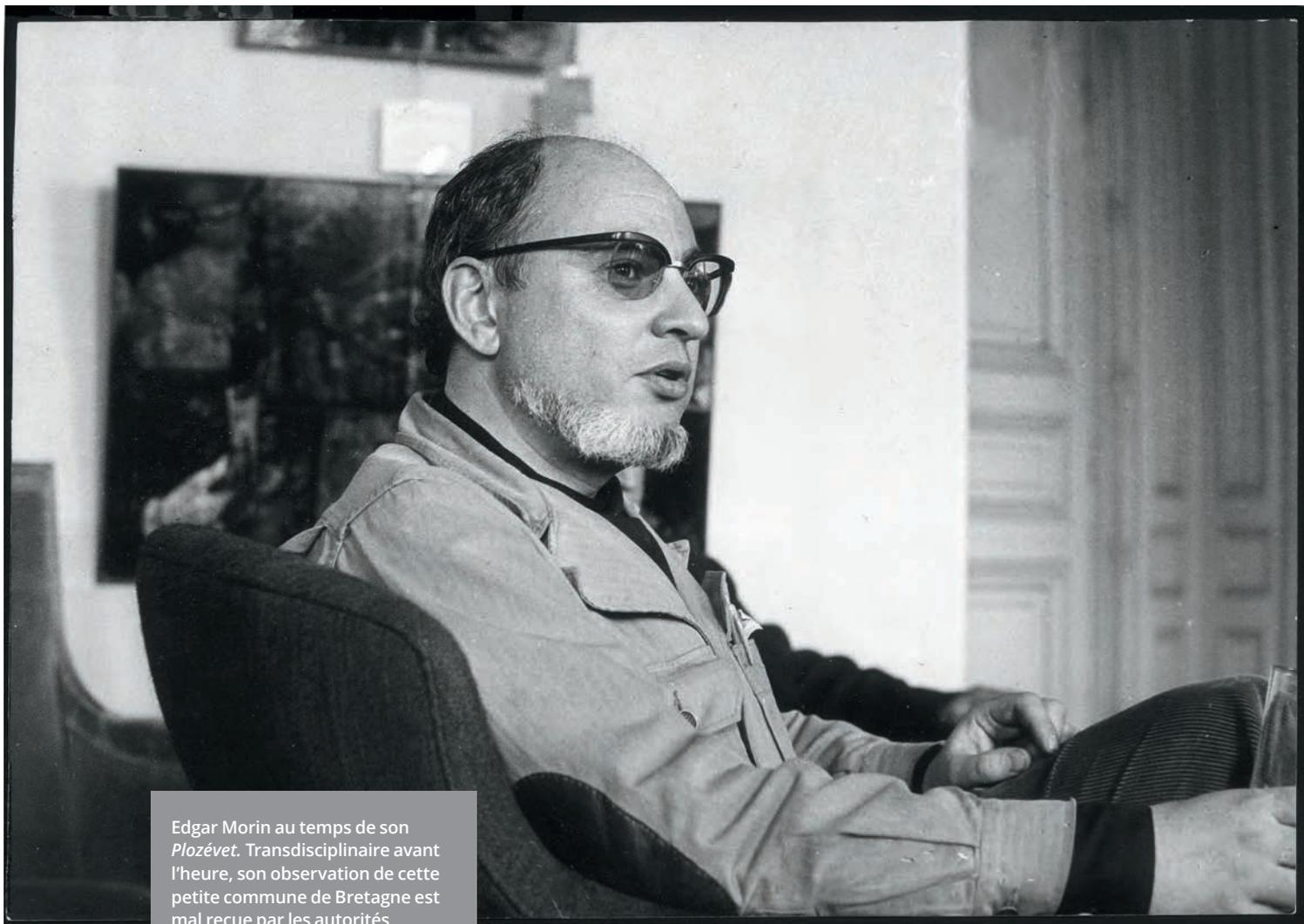
Selon Brillouin, un système néguentropique présente un degré croissant d'organisation. L'information peut être considérée comme une entropie négative ou néguentropie.

Première page du tapuscrit de *La Métamorphose de Plozévet*, livre publié en 1967.

SENTIMENTS ET ATTITUDES A L'EGARD DU MONDE MODERNE DANS UNE COMMUNE FRANCAISE

A l'extrémité occidentale de la France, en Bretagne, et à l'extrémité occidentale de la Bretagne, entre la ville de Quimper et la pointe du Roz où finit l'Occident, est située la commune de Plozévet. Cette commune a été choisie par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique comme terrain pour une recherche multidisciplinaire, mettant en concours les diverses sciences de l'homme, de l'anthropologie physique à la psychologie sociale, mais laissant l'indépendance à chaque recherche. Les enquêtes se sont succédées de 1960 à 1965.

Notre recherche, effectuée dans le cadre du Centre d'Etudes des Communications de Masse, concerne les attitudes et sentiments de la population à l'égard du monde moderne et s'est déroulée tout au long de l'année 1965. L'enquête a été menée sur le terrain par moi-même, assisté de Jean-Louis Penninou, avec l'aide de cinq chercheurs ayant accompli chacun un travail de quatre mois, (Bernard Paillard, Jean-Yves Martineau, Jean-Pierre Le Bolloch, Jean-Claude Stourm, Anne Leroux) et de quatre chercheurs ayant accompli des missions temporaires. La fluidité de l'objet même de notre enquête nous a amené, non pas à tenter de l'isoler arbitrairement au sein de la réalité multidimensionnelle de Plozévet, mais au contraire à la saisir immergé dans cette réalité. Notre recherche a bénéficié des travaux partiels déjà effectués, ce qui nous a facilité considérablement la tâche. Nous avons donc tenté de comprendre Plozévet, sans pour autant viser à la synthèse générale. Au contraire notre propos doit être un élément de cette synthèse qu'effectuera André Burguière.



Edgar Morin au temps de son *Plozévet*. Transdisciplinaire avant l'heure, son observation de cette petite commune de Bretagne est mal reçue par les autorités scientifiques de l'époque.

© FONDOS EDGAR MORIN/MEC

d'une pensée complexes. Je suis convaincu que cette révolution tend à dépasser, au sens hégélien du terme où ce qui dépasse conserve, ce qu'on peut appeler la science classique en une « *Scienza nova* » – une science des complexités du réel intégrant les complexités de la connaissance.

Mais je remarque qu'un très grand nombre de scientifiques ignore les travaux capitaux de la philosophie des sciences comme ceux de Bachelard et Popper, qui se sont poursuivis avec Kuhn, Serres, Holton, Lakatos, Latour et autres. De même que le problème posé dès les années 1930 par Husserl sur l'occultation du sujet connaissant dans l'objet scientifique, c'est-à-dire l'occultation de la part constructive de l'esprit dans la connaissance, reste

généralement ignoré. Je crois en la nécessité de l'autoexamen du connaissant. La *self deception* est la part de mensonge à lui-même que l'être humain secrète pour occulter ce qui gêne sa croyance ou se donner bonne figure. Le regard critique d'autrui est également indispensable à l'autocritique. Mais l'autocritique ne peut être standardisée. J'ai essayé de traiter de tout cela dans mon livre *Science avec conscience* (Fayard, 1982).

La dimension éthique de la science est-elle concernée par cette révolution ?

E. M. Les progrès des sciences au XX^e siècle, en donnant d'énormes pouvoirs à la techno-science, dont celui de la destruction nucléaire, ont en effet

posé le problème éthique et politique du contrôle des pouvoirs issus des sciences. Ce n'était pas le cas pour la science des XVII^e et XVIII^e siècles qui n'a pu se développer qu'en excluant tout jugement normatif, éthique et/ou politique. Or, après Hiroshima, on a découvert qu'il n'existait aucun régulateur éthique interne à la science, sinon celui de l'honnêteté dans le travail scientifique. Ce qui laisse subsister un énorme trou noir, que n'arrivent pas à combler les comités d'éthique, fruits de compromis entre diverses familles spirituelles.

L'actualité pandémique renforce-t-elle cette analyse ?

E. M. Je le crois. Le cloisonnement entre disciplines et sous-disciplines a

favorisé les infectiologues travaillant sur des statistiques au détriment des médecins travaillant sur les individus. De plus, les spécialisations et surspécialisations brisent le tissu relationnel et interactif du réel en fragments clos, ce qui empêche la convergence et l'intégration de connaissances venant de sources diverses pour affronter la formidable complexité des problèmes de la pandémie. Cette crise de la scientificité suscite une méfiance unilatérale et grossière vis-à-vis de la science car elle oublie les découvertes prodigieuses de la cosmologie, de la physique et de la biologie réalisées au siècle dernier.

Dans notre précédent entretien sur la pandémie¹, vous souligniez à quel point l'incertitude persiste, y compris dans la science. À lire votre dernier ouvrage autobiographique, on s'étonne de voir que pour vous, l'histoire aussi réserve une très grande part d'improbabilité...



À lire :
Leçons d'un siècle de vie, Edgar Morin,
Ed. Denoël, juin 2021,
160 p.

Article de presse sur le premier congrès inter-latin de la pensée complexe, à Rio, en 1998. En Amérique latine, Edgar Morin jouit d'une très grande popularité.



E. M. L'histoire, sous l'impulsion de l'école des Annales, s'est complexifiée, intégrant les mœurs, la vie quotidienne, et même avec Le Roy Ladurie, le climat. Elle a sous-estimé l'événement, l'accident et le hasard, au profit de processus déterministes. Mais l'événement y est finalement revenu.

C'est pour moi la plus complexe des sciences humaines. Elle possède à la fois un caractère rationnel et dément, marxien et shakespearien. La mythologie y joue un aussi grand rôle que l'économie. Tout mon propos est d'échapper à la pensée binaire qui oppose logique et absurde, processus et événement, nécessité et hasard. Or, tout ceci doit être combiné dans ce que j'appelle « dialogique » et que l'on peut appeler dialectique : dans l'histoire humaine, il y a à la fois de la logique et de l'absurde, de la causalité et du hasard, du processus et de l'événement. Le doute met en question les croyances, y compris la croyance au doute. C'est une vertu critique que doit aussi porter la critique sur elle-même.

Personnellement je tiens pour hygiénique le fait de douter des jugements d'autorité et des vérités officielles à condition de savoir douter du doute. Très importante pour moi est la notion d'incertitude. L'une de mes maximes est que la vie est une navi-



© ARCHIVES EDGAR MORIN / IMEC

gation dans un océan d'incertitudes tout en se ravitaillant dans des archipels de certitudes, qui ne peuvent être que locales et temporaires. Je tiens à toujours répéter que la pensée complexe ne supprime jamais totalement l'incertitude, mais négocie avec elle. Cette incertitude a été introduite dans la logique avec la conscience des limites de la non-contradiction et du tiers exclu, comme avec le théorème de Gödel montrant qu'aucun système ne dispose des possibilités de s'expliquer lui-même avec ses moyens propres. Si la pandémie a constitué un progrès, c'est un progrès dans la prise de conscience des incertitudes de la vie présente et future, ainsi que des incertitudes de la connaissance et de la pensée.

1. Voir « Nous devons vivre avec l'incertitude » sur lejournal.cnrs.fr 2. Paru en 1981 aux Éditions Fernand Nathan sous le titre *Pour sortir du XX^e siècle*.



Toute sa vie, Edgar Morin s'est attaché à débattre avec des scientifiques venus de toutes les disciplines, comme en témoigne sa longue amitié avec le philosophe, économiste et psychanalyste Cornelius Castoriadis (à droite).

Votre centenaire a été l'occasion d'hommages appuyés à votre cheminement intellectuel. Vous vous montrez pourtant très réservé sur la compréhension de votre œuvre...

E. M. Ce qui me touche le plus et constitue ma récompense, c'est le témoignage de ceux qui me disent avoir changé leur façon de voir, leur façon de penser et leur façon de vivre après avoir lu *La Méthode*. Je suis bien connu comme « humaniste » et comme diagnostiqueur-sociologue

des grands problèmes du présent, dans mes articles du *Monde* ou mes interventions télévisées, voire dans certains livres comme *Pour entrer dans le XXI^e siècle*². Les cérémonies de mon centenaire ont certes dû élargir mon audience. On reconnaît en moi un sociologue, voire un philosophe sauvage bien que je sois ignoré des manuels de sociologie et de philosophie. J'ai eu depuis mon adolescence la conscience de mon insertion dans le destin de l'humanité et le souci de ce destin et cela est resté toujours présent. J'admire ceux qui à un moment historique sont la conscience de l'humanité, Romain Rolland pendant la Première Guerre mondiale, le pape François aujourd'hui.

Des gens dans la rue me témoignent leur sympathie ou leur approbation. J'aime ça mais ça ne me dissimule pas l'essentiel. Le noyau de mon message, contenu dans *La Méthode* ou de façon plus accessible dans *L'Introduction à la pensée complexe* (ESF, 1990) et illustré dans *Les Sept Savoirs nécessaires à l'éducation* (Seuil, 2000), ce noyau reste inconnu ou méconnu, même de fervents admirateurs. Il n'est pas entré dans la culture, il est absent de tout programme secondaire ou universitaire.

Je ne connais que quatre professeurs d'université en France qui ont introduit la complexité dans leur enseignement. Il y a certes de nombreux instituts universitaires pour la pensée complexe, notamment en

Amérique latine, et je suis dans certains pays mieux connu qu'en France. J'ai, et c'est normal, des admirateurs naïfs et des admirateurs critiques, mais aussi surtout des critiques qui ne m'ont jamais lu et croient que la pensée complexe est une confusion sans pensée.

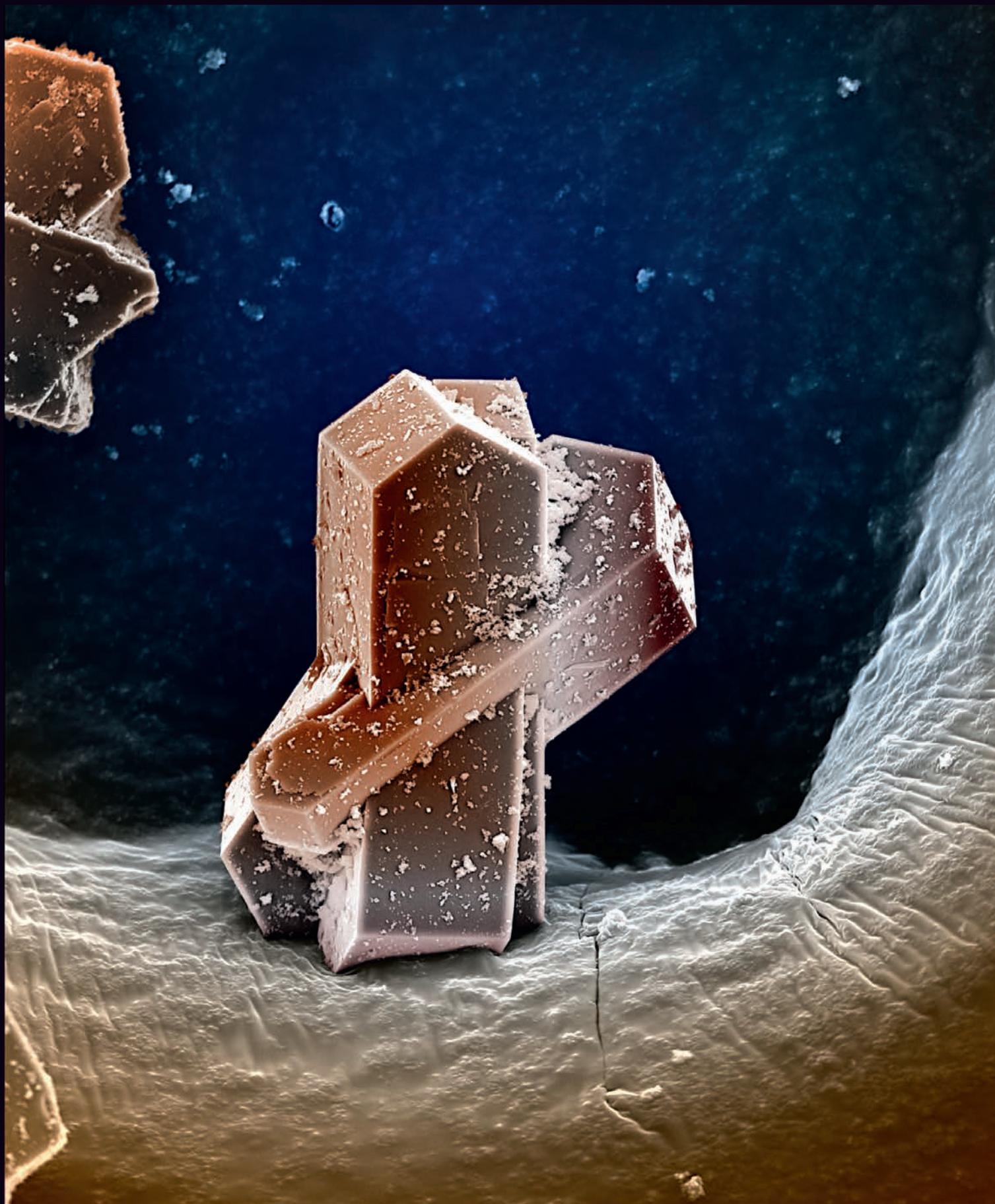
Lui imaginez-vous néanmoins une postérité ?

E. M. Comme ce fut le cas pour celles de Hegel, Marx, Freud, toute pensée complexe est victime de réductions, sélections, dénaturations y compris chez des disciples. Mais, il y a aussi des régénérations, voire des prolongements féconds, comme l'école de Francfort pour Marx. C'est, et ce sera de même pour ma pensée si elle ne s'oublie pas.

Je connais bien l'obstacle à la compréhension : il est paradigmatique. Les esprits sont formés dès les petites classes au primat du découpage et de la compartimentation du savoir, et sont formés pour obéir au paradigme de disjonction et de réduction. Cette forme d'esprit rejette comme vaine et superficielle toute connaissance fondée sur la reliance, la conjonction, l'intégration. Les esprits sont formés à croire que la connaissance est uniquement éclairante. Alors qu'elle comporte des obscurités qui sont sources d'erreurs et d'illusions, ces fléaux de l'humanité. Ils ne comprennent pas la nécessité de connaître la connaissance qui est au cœur de *La Méthode*, ni évidemment la nécessité de réformer la connaissance.

Il faudra attendre que la crise de notre système de connaissance soit assez patente pour susciter une révolution mentale qui opérerait la révolution pédagogique. Peut-être bientôt, peut-être dans cinquante ans, peut-être à la Saint-Glinglin... En attendant ou plutôt sans attendre, je continue, comme la fourmi, comme l'abeille, comme l'araignée, jusqu'à l'extinction de mes forces. ||

“La pensée complexe ne supprime jamais totalement l'incertitude, mais négocie avec elle.”



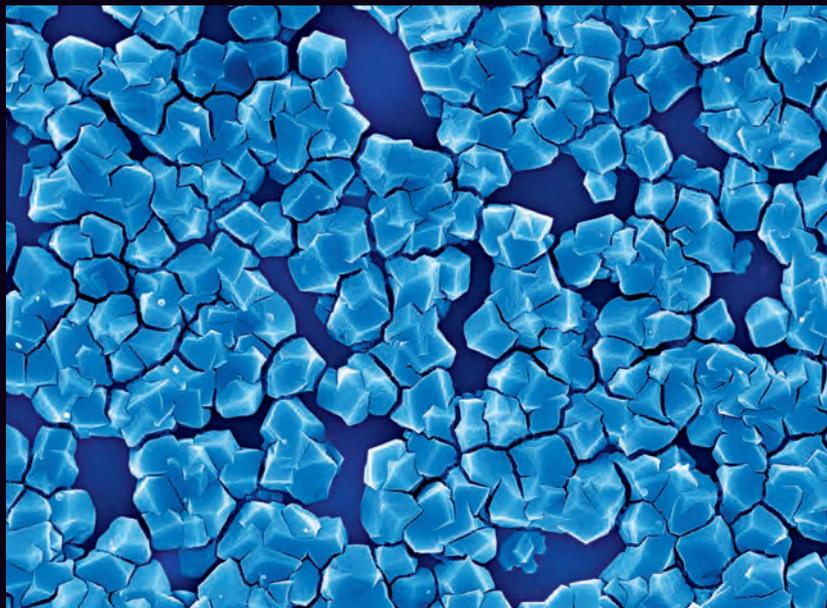
Fascinantes images de science

La nouvelle édition du concours La preuve par l'image, organisé par le CNRS avec l'Acfas, son partenaire canadien, livre ses lauréats.

Autant de photos et d'images fascinantes, issues de recherches ambitieuses. En voici un échantillon.

TEXTE ANNE-SOPHIE BOUTAUD

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



Fonte des glaces

► DIDIER COT, MARTIN DROBEK
© D. Cot/M. Drobek/IEM

Ces minuscules blocs de glace semblant dériver sur l'océan sont en fait des cristaux de MOF, des matériaux reconnus pour leur porosité exceptionnelle. Ils vont croître avant de se mêler à leurs voisins pour créer une couche lisse et homogène, sans fissures. La future membrane ainsi formée permettra de filtrer des gaz pour diverses applications ou de catalyser des réactions chimiques.

Songe d'une zéolithe

► BERTRAND REBIÈRE, BRUNO ALONSO
© B. Rebière/B. Alonso/ICGM

Minuscules éponges dures et denses, les zéolithes sont des cristaux extrêmement poreux aux propriétés pour le moins uniques : un seul gramme de zéolithe comprend des milliards de pores et de cavités de taille inférieure au nanomètre, soit une surface intérieure pouvant atteindre... 900 m² !



Les couleurs de Cassiope

► PHILIPPE LOUBRY, DIDIER MERLE
© Ph. Loubry/D. Merle/CRP2

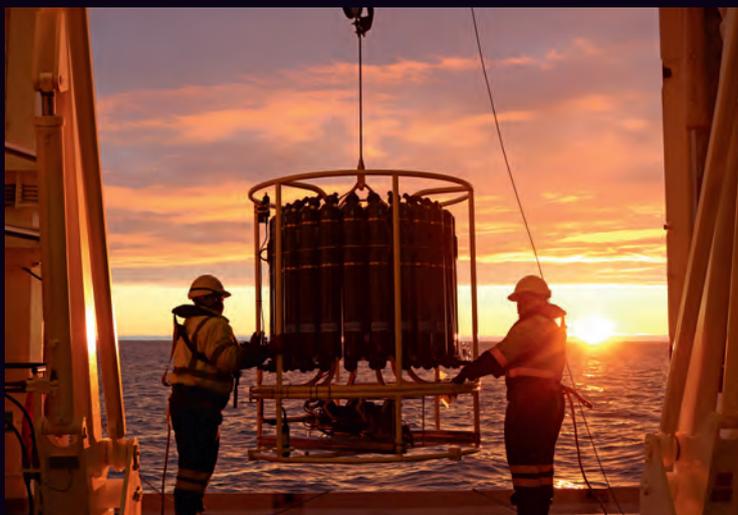
Voilà un petit gastéropode du genre *Cassiope* remarquablement bien conservé ! Cette belle coquille a été découverte en Autriche, dans un site fossilifère daté d'environ 90 millions d'années. Le motif coloré porté de son vivant se dévoile ici exposé sous lumière ultraviolette.



Coucher de sonde

► KATHERINE HUTCHINSON
© K. Hutchinson/LOCEAN/IPSL

Durant l'été austral, le soleil ne se couche jamais en mer de Weddell, en Antarctique. Il descend simplement à l'horizon, projetant une lueur rouge-doré. À bord du *SA Agulhas II*, navire de recherche sud-africain, les scientifiques prélèvent des échantillons pour étudier l'impact du réchauffement climatique sur cette partie isolée de l'océan Austral.



Une galaxie dans la bouche

► LOUISE SIMONNET
© L. Simonnet/CIML

La langue n'a pas encore livré tous ses secrets aux scientifiques qui tentent de mieux comprendre ce qu'il se passe lors d'infection ou de perte de goût. Les petits picots sont des papilles filiformes qui jouent un rôle mécanique. Le « rond » sur la gauche de l'image, ressemblant à une galaxie, est une des papilles gustatives qui nous permettent de percevoir les saveurs.



À l'école des sentinelles

► JEAN-FRANÇOIS HUMBERT
© J.-F.Humbert/IEES

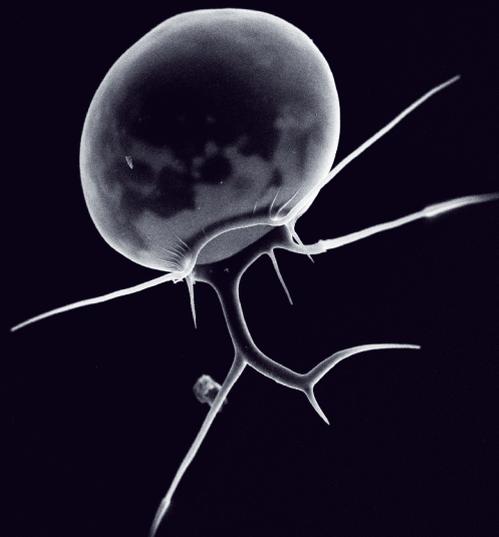
Dans une école du village d'Aghien-Télégraphe, près d'Abidjan en Côte d'Ivoire, cet instituteur échange avec ses élèves : ceux-ci vont contribuer à un projet de suivi participatif destiné à protéger la lagune d'eau douce proche du village. Ils guetteront la prolifération de cyanobactéries repérables par la couleur verte donnée à l'eau.



Superprédation

► ROMAIN GARROUSTE
© R. Garrouste/ISYEB

La redoutable réputation des mantes religieuses n'est plus à faire... malheureusement pour sa proie, un *Tarentola mauritanica* (une espèce de geckos) sur cette photo prise sur le vif dans le massif des Maures (Var). Bien que la prédation intra-gilde (ou superprédation) entre prédateurs soit commune, la prédation des arthropodes sur les vertébrés est assez rarement observée.



Dancing in the twilight

► PHILIPPE ELIES, VALENTIN FOULON, NATALIA LLOPIS MONFERRER
© Ph. Elies/PIMM/ V. Foulon/N. Llopis Monferrer/Lemar

Voici *Euphysetta lucani*, un danseur étoile de la compagnie des *Rhizaria*. Normalement présent dans les profondeurs de l'océan, ce spécimen, qui ne mesure que 250 microns, a été aperçu en surface, entre deux eaux de l'Atlantique Nord. Ce protiste extrait le silicium des océans pour bâtir son minuscule squelette de verre.



Le cri

► **STEPHAN BORENSZTAJN, CAROLINE THALERN**

© S. Borensztajn/C. Thaler/IPGP

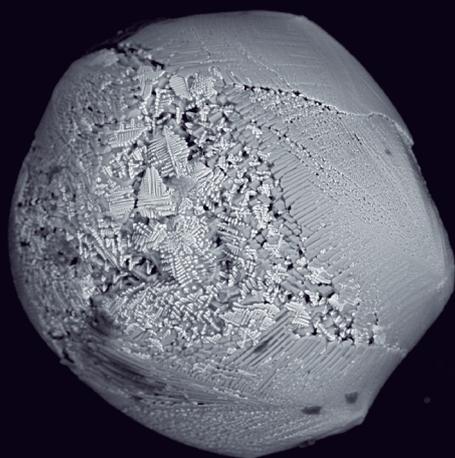
Cette version naturelle du tableau d'Edvard Munch est en fait une structure construite par des bryozoaires à squelette carbonaté, des animaux plus petits que le millimètre qui vivent en colonie dans les eaux froides. Chaque organisme vit ici dans une sorte de boîte en carbonate de calcium présentant des ouvertures, dont une principale qui permet à l'animal de filtrer l'eau de mer et de se nourrir.

Une prothèse plus intuitive

► **CLÉMENCE DROUOT**
© C. Drouot/ISIR

Christophe Huchet a été le pilote de l'équipe française Smart ARM lors de la compétition internationale du Cybathlon 2020. Sa collaboration avec les scientifiques a notamment abouti à de nouveaux algorithmes de commande permettant de rendre l'utilisation de la prothèse plus intuitive pour les personnes amputées au-dessus du coude.





Poussière extraterrestre

► **LUCIE DELAUCHE, CÉCILE ENGRAND, JEAN DUPRAT**
© L. Delauche/C. Engrand/J. Duprat/IJCLab

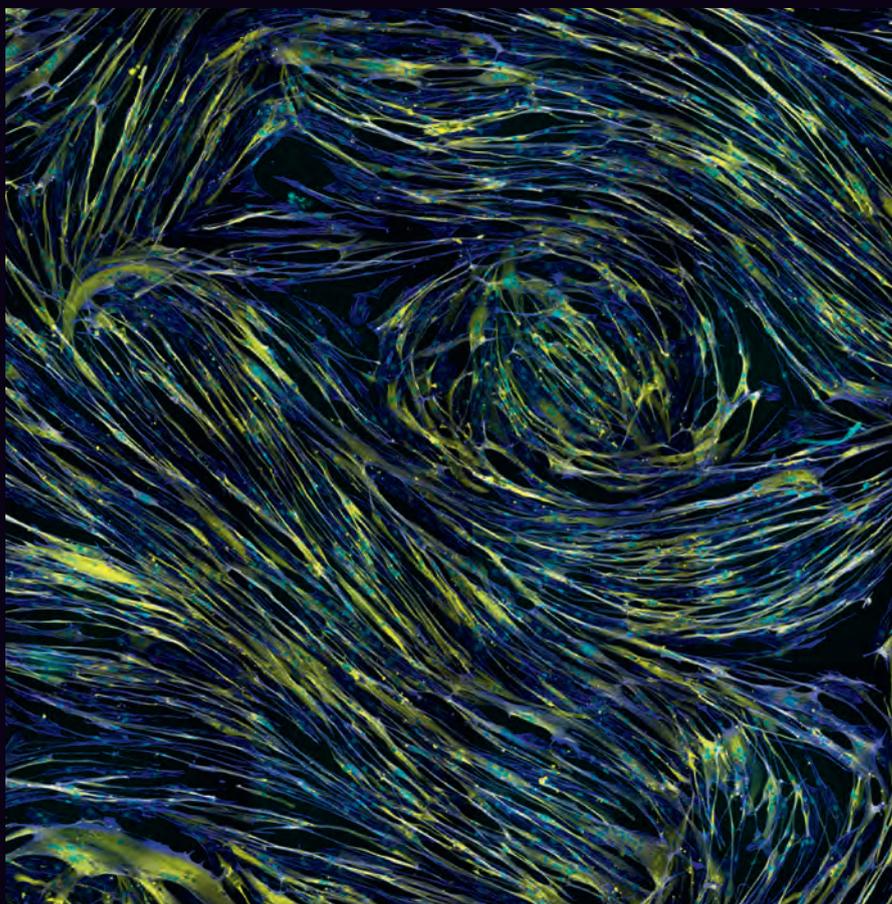
Ce grain cosmique, récolté au cœur de l'Antarctique à proximité de la station franco-italienne Concordia, fait partie des quelque 5 200 tonnes de micrométéorites provenant de comètes ou d'astéroïdes qui atteignent le sol terrestre chaque année. Le diamètre de cette « sphérule » est de 170 micromètres.



Crevette au clair de lune

► **SYLVAIN CHARBONNIER, CHRISTIAN LEMZAOUDA**
© S. Charbonnier/Ch. Lemzaouda/CR2P

Redécouvert dans les collections du Muséum national d'histoire naturelle, ce spécimen d'*Aeger insignis* vivait dans un lagon au Jurassique supérieur, il y a environ 140 millions d'années. Cette crevette fait partie d'une famille éteinte qui possédait des pattes-mâchoires qui pouvaient lui servir de « râteaux » pour chercher de la nourriture dans le sédiment.



Van Gogh cellulaire

► **LOUISE GRIVEAU, ÉMILIE CHRISTIN**
© L. Griveau/LBTI/É. Christin/Institut NeuroMyogène

Ces tourbillons microscopiques, évoquant *La Nuit étoilée* de Van Gogh, sont en réalité formés par des cellules précurseurs du muscle en train de fusionner. On discerne leurs noyaux cellulaires en cyan, le cytosquelette d'actine en bleu, et, en jaune, une protéine témoignant de la formation de nouvelles fibres musculaires.

40 ans après, peut-on en finir avec le sida ?

VIVANT

SOCIÉTÉS

Il y a tout juste 40 ans, les premiers cas de sida étaient révélés au monde entier. Le point de départ d'une épidémie planétaire qui a fait plus de 36 millions de victimes à ce jour. Comment malades et associations ont-ils aidé la recherche à se structurer ? Aujourd'hui, où en sommes-nous vraiment ? Anthropologues, historiens et biologistes apportent des éléments de réponse.

DOSSIER RÉALISÉ PAR LAURE CAILLOCE ET MATTHIEU STRICOT



Manifestation organisée par le mouvement Act Up Paris dans le cadre de la 6^e journée mondiale de lutte contre le sida, le 1^{er} décembre 1992, à Paris.

De l'angoisse à la lutte, une autre histoire de l'épidémie

En 1982, Anne-Marie Moulin¹, alors spécialiste en parasitologie, rencontre son premier patient, atteint de ce qui ne s'appelait pas encore le sida ; celui-ci est mourant. « *Ses derniers jours ont été inutilement tourmentés par ceux qui cherchaient à obtenir l'aveu de son homosexualité. Pourtant, ce chercheur revenait d'une mission à Haïti. Après un accident, il avait été transfusé sur place, contractant ainsi le virus, alors inconnu* », se souvient cette directrice de recherche émérite au CNRS, au laboratoire Sciences, Philosophie, Histoire², où elle continue d'étudier les maladies émergentes. Cette terrible anecdote révèle à quel point les malades atteints du sida ont d'emblée été stigmatisés.

« *En 1981, des épidémiologistes nord-américains ont élaboré une première théorie des origines du sida en la nommant la maladie des 4H, pour héroïnomanes, homosexuels, hémophiles et Haïtiens. En dehors des hémophiles, les termes renvoient à des catégories de personnes déjà discriminées* », commente l'anthropologue de la santé Sandrine Musso, du Centre Norbert Elias³.

C'est en juin 1981 que le grand public prend connaissance du sida, quand *Morbidity and Mortality Weekly Report* publie une note⁴ révélant que cinq malades ont été traités pour une forme de pneumonie qui n'apparaît que lorsque le système immunitaire est très affaibli. Cette maladie est baptisée dans les mois suivants « syndrome d'immuno-déficience acquise ». Mais l'histoire remonte bien plus loin. « *À partir d'échantillons anciens de sérum, on estime aujourd'hui⁵ que tout aurait commencé dans les années 1920, en Afrique centrale, où le virus serait passé du singe à l'homme. Il mettra ensuite beaucoup de temps pour s'adapter et circuler. C'est à la suite de déplacements d'étudiants entre la Centrafrique, le Congo et le reste du continent, puis d'échanges d'intellectuels et de professionnels entre l'Afrique et Haïti, que le sida a probablement émergé en tant que pandémie* », explique Anne-Marie Moulin.

« Une épidémie des marges »

Pourquoi cette maladie a-t-elle été associée à des groupes sociaux particuliers ? « *Les premiers cas ont été identifiés chez des homosexuels masculins car ils faisaient déjà l'objet d'une surveillance médicale particulière. En effet, des infections sexuellement transmissibles circulaient suite à une*

période de libération sexuelle au cours des années 1970 », explique le socio-anthropologue Christophe Broqua, membre de l'Institut des mondes africains⁶.

« *Cela tient aussi à une particularité du VIH, poursuit le chercheur : s'il peut toucher n'importe qui, il se diffuse préférentiellement dans certains groupes à travers des pratiques spécifiques ; chez les homosexuels masculins, car la transmission du VIH est favorisée par les pratiques de pénétration anale, et chez les usagers de certaines drogues, à travers le partage de seringues. Par ces considérations, le sida a été d'abord vu comme une épidémie des marges, alors qu'il a été démontré, ensuite, qu'une transmission hétérosexuelle se développait simultanément sur le continent africain.* »

« *Mais celle-ci a été très sous-estimée dans les pays du Nord, se souvient Sandrine Musso. Par conséquent, les femmes sont restées largement en dehors des cibles de prévention, à l'exception des mères dans le cadre de la transmission mère-enfant et des femmes prostituées.* »



Luc Montagnier (g.), Françoise Barré-Sinoussi et Jean-Claude Chermann (d.), le 25 avril 1984 dans leur laboratoire l'Institut Pasteur, à Paris. Vingt-cinq ans après avoir réussi à isoler le virus, Luc Montagnier et Françoise Barré-Sinoussi ont reçu le prix Nobel 2008 de physiologie ou médecine.

1. Directrice du département Santé/Sciences sociales de l'Institut de recherche pour le développement de 1999 à 2002, et de 2002 à 2006, présidente du Conseil d'administration de l'ANRS (Agence nationale de recherche sur le sida - aujourd'hui ANRS-Maladies infectieuses émergentes). 2. Unité CNRS/Université Paris-Sorbonne. 3. Unité CNRS/EHESS/Avignon Université/Aix-Marseille Université. 4. https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/june_5.htm 5. Voir Jacques Pépin, *Aux origines du sida*, Seuil, 2019. 6. Unité CNRS/Université Panthéon-Sorbonne/EHESS/IRD/Aix-Marseille Université.

“*Dès les premières années, beaucoup de malades revendiquent une expertise basée sur leur expérience, fondent des clubs thérapeutiques et demandent à être associés aux décisions politiques prises à leur sujet.*”

Dans les années 1980, la maladie que l'on qualifie de « cancer gay » occasionne son lot de mises au ban. Des attaques ont continué de se développer dans les années 1990 à travers « les discours qui accusaient injustement les militants homosexuels d'avoir été irresponsables face à la maladie en l'ayant niée pendant un temps, rappelle Christophe Broqua. Mais je vois là une constante dans la recherche de boucs émissaires inhérente à toute épidémie ».

Malades experts et activisme thérapeutique

Au-delà des peurs, la pandémie de sida a fait émerger de nouvelles pratiques inclusives. En effet, la médecine se révèle au départ impuissante. « Dès les premières années, beaucoup de malades revendiquent une expertise basée sur leur expérience, fondent des clubs thérapeutiques et demandent à être associés aux décisions politiques prises à leur sujet », raconte Sandrine Musso. En 1985 émergent les tests de dépistage. Alors que, jusqu'ici, seuls les malades étaient visibles, se pose le cas des personnes séropositives – qui peuvent vivre une dizaine d'années normalement entre la contamination et l'entrée dans la maladie. « Des hommes politiques français ont demandé d'établir un fichier des personnes séropositives. Un avis du Conseil national du sida⁷, en 1991, a finalement refusé ce fichage, défendant ainsi une logique de santé publique basée sur le droit », explique la chercheuse.

Les associations de lutte contre le sida ont joué un rôle de premier plan dans la mise en œuvre des politiques et le développement des traitements : « Alors que la recherche avançait vite dans les années 1990, l'activisme thérapeutique a fait bouger l'industrie pharmaceutique et la recherche médicale : de par leurs connaissances des traitements à l'essai, les patients se sont mobilisés pour accélérer leur mise à disposition », explique le sociologue de la santé Gabriel Girard, chargé de recherche à l'Inserm. Au sein de l'activisme sida, une branche fortement contestataire a émergé autour de l'association Act Up, fondée en 1987 aux États-Unis. « Créée dans un premier temps pour dénoncer

les injustices associées à l'épidémie, Act Up a remis en cause le pouvoir médical de manière frontale », raconte le chercheur.

Mémoires et victoires de la lutte associative

« L'accomplissement le plus important d'Act Up concerne le travail sur les représentations publiques de la maladie et des groupes touchés par elle, à commencer par les homosexuels », considère Christophe Broqua. À tel point qu'il remarque un contraste flagrant entre la perception de cette association dans les années 1990 et aujourd'hui : « À l'occasion du film 120 battements par minute, sorti en 2017, Act Up a été saluée comme un grand héros de l'histoire de la lutte contre le sida alors qu'à l'époque, elle était très critiquée, autant par les politiques que par certains militants anti-sida, car beaucoup voyaient en elle des gens violents et communautaristes ».

L'enjeu de mémoire de cette lutte demeure essentiel. « Dès 1997, Act Up a créé un groupe dédié aux archives et à la documentation, donnant ainsi à la mémoire une fonction à la fois pratique et militante », raconte l'anthropologue Renaud Chantraine, doctorant à l'EHESS, qui a participé à l'élaboration de l'exposition « VIH/sida, l'épidémie n'est pas finie ! », qui se tiendra au Mucem, à Marseille, du 15 décembre 2021 au 2 mai 2022. « Nous avons tâché de remettre en récit les objets conservés dans les collections du musée, en réunissant des soignants, des militants, des universitaires et des personnes vivant avec le VIH », explique le chercheur. Act Up, Aides, Le Patchwork des noms, Les Sœurs de la perpétuelle indulgence... Les associations ont engrangé plusieurs victoires, dont la prise en charge à 100 % par la Sécurité sociale des personnes infectées par le VIH dans les années 1990, ou encore la distribution gratuite de médicaments génériques



©TERRY SCHMITT / LUPI / AEP

Des victimes de la maladie défilent sur Market Street le 26 juin 1983 à San Francisco lors de la parade annuelle du Lesbian/Gay Freedom Day.

7. Organisme français créé en 1989, remplacé en 2015 par le Conseil national du sida et des hépatites virales avec pour mission de donner son avis sur l'ensemble des problèmes posés à la société par le sida et les hépatites, mais aussi de faire des propositions au gouvernement.



Des patients séropositifs français achètent des médicaments utilisés pour la trithérapie aux États-Unis, à New York, en mars 1996.

dans les pays du Sud à partir des années 2000. « *Beaucoup plus récemment, elles ont obtenu la levée de l'interdiction des soins funéraires pour les personnes infectées par le VIH* », ajoute Christophe Broqua.

Les représentations publiques de la maladie ont également évolué avec l'arrivée des traitements. La trithérapie, apparue en 1996, a permis aux personnes infectées de garder une espérance de vie quasi normale, avec toutefois des effets secondaires importants. « *La maladie perd à ce moment-là son statut de fléau total* », remarque Sandrine Musso. En parallèle, les médecins retrouvent une place centrale dans la prise en charge et la prévention du VIH. Une position qui ne fait que s'accroître à la fin des années 2000, avec l'apparition des traitements préventifs. « *Déjà utilisés de manière très efficace pour éviter la transmission mère-enfant, ces traitements antirétroviraux ont révélé des vertus préventives au niveau de la transmission sexuelle à partir de 2008*, explique Christophe Broqua. *Aujourd'hui, les personnes qui vivent avec le VIH savent que, sous traitement, avec une charge virale indétectable, elles ne transmettent plus le virus par voie sexuelle. Les pratiques et les représentations ont ainsi été bouleversées chez les personnes infectées et leur entourage.* »

Prévention, traitement : des inégalités persistantes

Le sida est devenu une maladie chronique mais tout le monde n'est pas logé à la même enseigne. « *En France, tous les séropositifs connus sont traités. Mais en Afrique, par exemple, seuls autour de 30 % de séropositifs sont traités, il y a donc encore des enfants qui naissent avec le VIH* », relève Anne-Marie Moulin. Comment expliquer une telle disproportion ? « *La lutte contre le sida a abouti à des accords permettant aux gouvernements d'obtenir des dérogations par rapport au droit des brevets lorsqu'une pandémie menace*

leurs populations. C'est certainement un progrès », concède l'ancienne présidente du Comité d'éthique de l'Institut de recherche et de développement, qui rappelle néanmoins que « *de nombreux pays africains continuent d'avoir des ruptures de stocks, liées entre autres à l'instabilité politique* ». De plus, on constate le développement de résistances aux traitements anti-VIH « classiques » dans les pays qui n'ont pas toujours accès aux médicaments les plus récents.

Autre problème : « *Si une grande partie des contaminations sur le continent africain s'effectuent par voie hétérosexuelle, la transmission y est particulièrement concentrée au sein de certains groupes tels que les minorités sexuelles*, révèle Christophe

Broqua. *La situation n'est pas simple là où ces minorités sont réprimées. La prévention dans certains pays du Maghreb, où il n'existe parfois pas d'associations gay, s'avère aussi compliquée qu'en Afrique subsaharienne. Même si ces États se sont engagés à prendre en charge l'accès gratuit aux traitements, ils ne financent pas la prévention auprès des communautés les plus touchées* », constate le chercheur.

« *Même en France, des gens continuent de mourir du sida, souvent parce qu'ils ont appris très tardivement qu'ils étaient séropositifs*, prévient Gabriel Girard. *Le recours ou non aux outils de prévention reste fortement déterminé par les conditions de vie, l'environnement social, culturel et politique. Quand on a pour priorité de se loger et de se nourrir, la prise de traitement apparaît secondaire.* »

Sida et démocratie sanitaire

Après quarante ans de combats, la lutte contre le sida a-t-elle apporté des enseignements dans la gestion d'une crise sanitaire ? « *Le silence des personnes atteintes de Covid-19 a été assourdissant, alors que les leçons du sida pourraient nous éclairer sur la place donnée aux personnes malades et à la société civile pour penser les questions posées par l'épidémie* », se désole Sandrine Musso. Un point de vue que rejoint Anne-Marie Moulin : « *De nombreux chercheurs ont protesté contre la ligne gouvernementale face à l'épidémie de Covid-19 oubliant la leçon du sida. Jean-François Delfraissy, ancien directeur de l'Agence nationale de recherche sur le sida⁸, qui est aujourd'hui président du Conseil scientifique, a assuré qu'il avait essayé de persuader la Présidence qu'une large consultation populaire était nécessaire, mais que l'Élysée n'avait jamais répondu à ses propositions. Finalement, la crise du Covid-19 n'a pas emprunté grand-chose aux enseignements de démocratie et de civisme tirés de l'expérience du sida.* » || M.S.

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

8. Créée en 1988, l'Agence nationale de recherche sur le sida – aujourd'hui ANRS-Maladies infectieuses émergentes – a pour mission de fédérer, coordonner, animer et financer la recherche publique sur le VIH et les hépatites virales.

La recherche sur le VIH à un tournant



© C. SARRAUTE DE MENTHERÉCHISIGH

Quarante ans après sa découverte, le VIH/sida est devenu une maladie chronique grâce aux trithérapies. Mais il résiste encore à la guérison et le vaccin se fait attendre. Monsef Benkirane, microbiologiste, fait le point sur les nouveaux enjeux de la recherche.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

Quelle est la situation de l'épidémie aujourd'hui dans le monde ?

Monsef Benkirane¹. La situation est stable, si l'on considère le nombre de personnes séropositives, et ne s'améliore plus depuis quelques années. Aujourd'hui, on considère que 37 millions de personnes sont infectées par le VIH dans le monde, dont un quart le sont sans le savoir. Un effort énorme a été fait au niveau des traitements, notamment en Afrique subsaharienne qui concentre à elle seule 25 millions de cas. Cela permet à 26 millions de personnes sur la planète de recevoir un traitement, soit deux fois plus qu'il y a dix ans. Ce meilleur accès aux traitements a un effet notable sur la mortalité de la maladie : 690 000 personnes sont décédées du VIH/sida en 2020, d'après l'Onusida, alors qu'on comptait encore 1,5 million de victimes par an il y a dix ans. Mais le bilan pourrait être meilleur.

Pourquoi dites-vous que l'on pourrait faire mieux, dès maintenant ?

M. B. Aujourd'hui, nous avons tous les outils pour vraiment sortir de l'épidémie. Nous avons les trithérapies, qui permettent non seulement de garan-

tir aux malades la même espérance de vie qu'une personne non infectée, mais empêchent également ceux-ci de transmettre le VIH à leurs partenaires. Sous traitement, le virus est indétectable dans le sang, ce qui fait des thérapies des outils de prévention

à part entière. C'est la fameuse stratégie Tasp – Treatment as prevention – promue depuis dix ans déjà. Ces dernières années ont également vu le développement de la Prep (ou prophylaxie pré-exposition), un traitement pris en préventif destiné aux personnes exposées à un fort risque de s'infecter – comme les travailleurs du sexe, notamment, qui n'ont pas toujours la possibilité d'utiliser le préservatif. Il faut cependant rester attentif,



1. Directeur du laboratoire de virologie moléculaire de l'Institut de génétique humaine (CNRS/Université de Montpellier).

car la Prep à travers la prise de Truvada ne garantit pas une protection à 100 % et ne doit être réservée qu'aux publics les plus exposés.

Grâce à l'ensemble de ces traitements, seules deux générations seraient nécessaires pour éradiquer totalement l'épidémie si toutes les personnes infectées étaient traitées correctement. Cela n'est malheureusement pas aussi simple, car au-delà de l'accès même au traitement dans les pays à ressources limitées, il reste un vrai problème d'adhésion à celui-ci, en Europe également. L'infection par le VIH reste encore stigmatisante dans un certain nombre de pays, ce qui conduit les personnes à cacher leur séropositivité. Il est donc impossible de s'assurer du suivi correct du traitement tout au long de la vie. Or il suffit de quelques jours à peine pour observer un rebond viral après un arrêt du traitement. C'est pourquoi la priorité pour sortir définitivement de l'épidémie est de trouver un vaccin.



Nouvelle venue dans l'arsenal thérapeutique, la Prep (pour prophylaxie pré-exposition) est un traitement préventif destiné aux personnes exposées à un fort risque de s'infecter.

Que vous inspirent les progrès faits par la recherche depuis l'apparition de l'épidémie, au début des années 1980 ?

M. B. Il a fallu quinze années entre l'apparition du premier cas et la mise sur le marché des trithérapies, c'est proprement phénoménal. La recherche a permis de passer d'une infection mortelle que nous ne connaissions pas, à une maladie chronique. Des efforts considérables ont été mis en œuvre tant sur le plan des moyens humains que financiers, c'est vrai, mais il y a plus que cela. La recherche sur le VIH/sida a été extrêmement bien coordonnée. Les agences de recherche, les associations telles que le Sidaction en France, les chercheurs, les cliniciens et surtout les malades, ont avancé main dans la main. C'est une belle entreprise qui aurait dû nous inspirer sur la façon de gérer la crise du Covid-19, abordée de façon désordonnée et sans feuille de route.

Vous soulignez le rôle tout particulier joué par les associations de malades...

M. B. La façon dont s'est organisée la recherche sur le VIH a fait sa force, en grande partie grâce aux associations de malades et aux activistes qui n'ont eu de cesse d'aiguillonner les scientifiques, et continuent de le faire encore aujourd'hui. Ce sont des gens

qui se sont intéressés à la science ; il fallait tout leur expliquer, le fonctionnement de l'infection, le mode d'action des médicaments antiviraux... C'est grâce à leur exigence et parce qu'ils n'étaient jamais satisfaits et demandaient une meilleure qualité de vie que nous avons continué à progresser sur les traitements : de vingt comprimés par jour associés à de nombreux effets secondaires, la prise de médicaments est aujourd'hui ramenée à un cachet quotidien. Mais cela ne suffit pas : des scientifiques travaillent sur le « *long lasting treatment* » (le traitement durable) sous la forme d'une injection une fois par mois... et peut-être, bientôt, une fois par an. Nous sommes cependant à un palier de la recherche scientifique aujourd'hui : si nous perfectionnons les traitements existants, nous n'avancions plus sur les traitements qui permettraient de guérir de façon définitive la maladie. Les chercheurs butent sur les cellules réservoirs où le virus se met en dormance.

Où en est-on de la recherche sur ces fameuses cellules réservoirs que les traitements ne parviennent pas à éradiquer ?

M. B. Nous avançons, mais plus à la vitesse à laquelle nous avons l'habitude de progresser sur le VIH dans les premières années de l'épidémie. La recherche sur les cellules réservoirs

Faute d'efficacité, l'essai clinique d'un vaccin HVTN 702 mené pendant quatre ans en Afrique du Sud a été arrêté début 2020.

“Nous ne sommes plus dans l'urgence comme dans les années 1980 et 1990. Le moment est venu pour les scientifiques de s'accorder le temps de développer des idées nouvelles et de prendre des risques.”

est en effet compliquée par la difficulté d'accès et la rareté de ces cellules où le virus se met en veille, à l'abri des traitements et de la réponse immunitaire.

Une des avancées de ces dernières années a été de pouvoir quantifier le réservoir effectivement fonctionnel, au travers de nouvelles approches techniques et expérimentales. En cherchant l'ADN viral, nous avons constaté que 90 % des cellules qui contiennent de l'ADN viral sont porteuses d'un ADN défectif qui ne permet pas au virus de se répliquer... Cela signifie que seules 10 % des cellules réservoirs ont un ADN opérationnel et sont le siège d'une répllication effective du virus. C'est ce réservoir « compétent » pour la répllication virale qu'il faudra aller cibler pour empêcher le rebond viral à l'arrêt du traitement.

Sait-on où ces cellules réservoirs « compétentes » se trouvent ?

M. B. C'est extrêmement difficile de le savoir, vu la rareté du matériel biologique dont nous disposons pour faire nos recherches. Les cellules réservoirs sont extrêmement peu nombreuses : nous parlons ici d'une cellule par million de lymphocytes T CD4, ces cellules immunitaires qui sont les cibles principales du VIH. De plus, nous travaillons presque exclusivement sur des échantillons de sang prélevé chez les patients, les biopsies donnant accès à des organes majeurs pour la persistance virale étant trop invasives. Or nous soupçonnons que les cellules réservoirs sont des cellules qui pourraient se retrouver dans des sanctuaires ana-

tomiques difficilement accessibles aux molécules antirétrovirales, comme les organes lymphoïdes secondaires (rate, ganglions lymphatiques, tissus lymphoïdes accumulés dans les muqueuses).

Mon équipe a quant à elle réussi à montrer la présence d'un marqueur de surface qui s'exprime à la surface des cellules infectées par le VIH chez les personnes sous traitement antirétroviral. Par ce biais, nous devrions pouvoir mieux identifier et caractériser ces cellules réservoirs. Nous progressons donc à pas comptés.

Où en est-on des recherches sur un futur vaccin contre le VIH/sida ?

M. B. Le vaccin doit être la priorité de la recherche aujourd'hui, car c'est ce

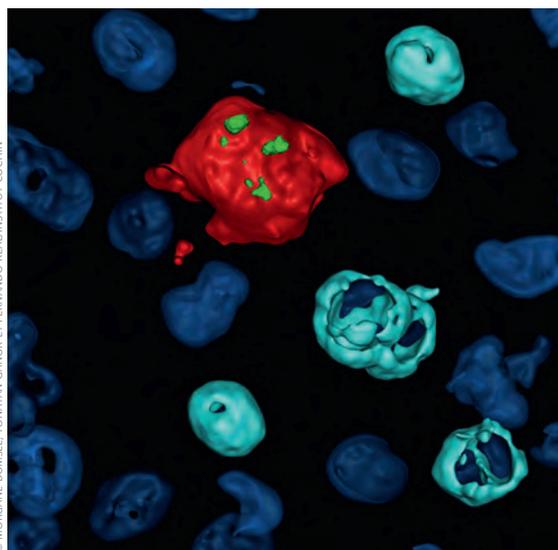
qui nous permettra de sortir définitivement de l'épidémie de sida. Plusieurs essais vaccinaux à grande échelle ont échoué ces quinze dernières années, en Thaïlande, et plus récemment en Afrique du Sud... Il faut continuer de se mobiliser.

Le problème majeur auquel nous nous heurtons aujourd'hui est que, si les personnes qui contractent le VIH/sida ont une très belle réponse anticorps, celle-ci ne suffit pas à enrayer la propagation du virus dans l'organisme. Ce dernier mute en effet extrêmement vite au fil des cycles de réplication – on parle d'une erreur toutes les mille bases d'ADN à chaque cycle, ce qui est énorme. Cela signifie que le vaccin devra faire mieux que le virus lui-même pour déclencher une réponse immunitaire efficace, en induisant des anticorps neutralisants à très large spectre.

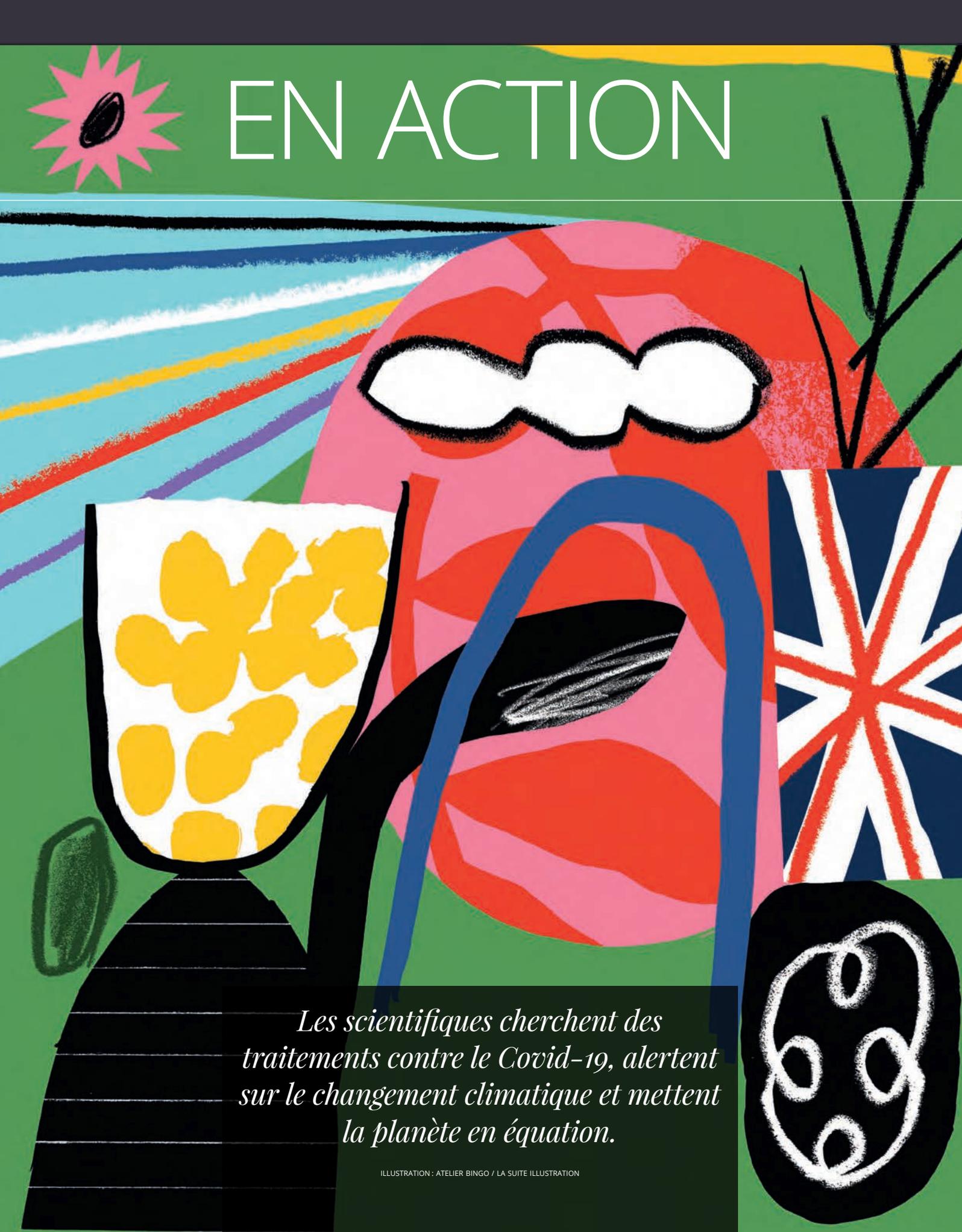
L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a fixé l'année 2030 comme horizon pour stopper l'épidémie de VIH. Cela vous paraît-il réaliste ?

M. B. C'est un bel objectif, mais on sait que l'on n'y arrivera pas, pour toutes les raisons sociétales et culturelles exposées au début de notre entretien. Pour éradiquer le sida, il va falloir faire un bond énorme dans la recherche vaccinale et la connaissance de notre système immunitaire.

Aujourd'hui, les personnes vivant avec le VIH vont bien, nous ne sommes plus dans l'urgence dans laquelle nous étions dans les années 1980 et 1990. C'est pourquoi je pense que le moment est arrivé pour les scientifiques de s'accorder le temps de développer des idées nouvelles et de prendre des risques. C'est une recherche de plus longue haleine, qui va continuer de demander des efforts et des financements. C'est important d'insister sur ce dernier point, car quand vous discutez avec certains responsables politiques, le VIH ne semble plus être un sujet. **||**



Les macrophages contenus dans les muqueuses de l'urètre (en rouge) constituent l'un des réservoirs du VIH (en vert).



EN ACTION

Les scientifiques cherchent des traitements contre le Covid-19, alertent sur le changement climatique et mettent la planète en équation.

« Le changement climatique nous touche déjà de plein fouet »



© PEDARILHOS/STOCKADobe.COM

TERRE



© MAIRIE DE L'ORIENT

ENVIRONNEMENT Le Giec a publié le 9 août le premier volet de son nouveau rapport sur le changement climatique et ses impacts sur la planète, accompagné d'un résumé aux décideurs. Christophe Cassou, co-auteur du rapport, nous en explique l'élaboration et les conclusions.

PROPOS RECUEILLIS PAR MARTIN KOPPE

Vous avez rejoint l'équipe de six chercheurs CNRS participant à la rédaction de ce premier volet du sixième rapport de Giec. Pouvez-vous nous dire comment sont organisés ces documents ?

Christophe Cassou¹. Le Giec fonctionne par cycles. Le nôtre a démarré en 2015 et se terminera en 2022, avec la sortie d'un rapport de synthèse. Le rapport général est composé de trois volets. Le premier traite de la compréhension physique du système climatique et du changement climatique. Le second portera sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité des sociétés humaines et des écosystèmes au changement climatique, tandis que le dernier abordera les solutions globales à mettre en œuvre pour atténuer le changement

climatique et ses effets. Trois rapports spéciaux complètent ce cycle. Publiés en 2018 et 2019, ils se focalisent sur les impacts climatiques à un niveau de réchauffement précis, à savoir 1,5 degré, les impacts du changement climatique sur l'océan et la cryosphère et, enfin, sur les zones continentales.

Quelles sont les grandes conclusions de ce premier volet ?

C. C. Pour résumer, il montre que le changement climatique c'est maintenant, c'est partout sur la planète. Il empire et nous le percevons sous diverses formes. Il est écrit noir sur blanc dans le rapport que le rythme du réchauffement climatique que nous vivons est sans précédent depuis au moins 2 000 ans, et que la

décennie 2010-2019 est probablement la plus chaude depuis au moins 100 000 ans. Il est établi, sans équivoque, que l'activité humaine est la cause du changement climatique observé depuis les 150 dernières années. Concernant la température globale à la surface, les activités humaines expliquent la totalité du réchauffement observé sur la dernière décennie par rapport au climat préindustriel, calculé à partir d'une moyenne entre 1850 et 1900. Le seuil de 1,5 degré sera très probablement atteint sur les vingt prochaines années. Notre monde d'aujourd'hui, à +1,1 °C, n'est pas le même que celui à +0,9 des années 2000. Le monde futur à +1,5 ne sera pas celui d'aujourd'hui et sans réduction immédiate, forte, soutenue et à grande échelle de nos émissions de gaz à effet de serre, nous ne parviendrons pas à limiter le réchauffement en dessous de ce seuil.

Quelles en sont les conséquences ?

C. C. Quelques fractions de degrés peuvent sembler minimes, mais c'est tout le contraire. Chaque fraction de réchauffement additionnel se traduit par des événements climatiques

1. Directeur de recherche CNRS au laboratoire Climat, environnement, couplages et incertitudes (CNRS/Cerfacs).

► Les feux de forêt se multiplient chaque année en Amazonie.

extrêmes plus fréquents et plus sévères, comme des vagues de chaleur, des sécheresses, des pluies diluviennes... Ces événements pourront aussi se produire dans des zones où ils étaient jusqu'alors inconnus.

L'Europe méditerranéenne est particulièrement touchée. De même, le réchauffement est deux à trois fois plus rapide aux latitudes polaires de l'hémisphère nord, avec une fonte rapide du Groenland et de la banquise de l'océan Arctique, mais aussi des canicules induisant des mégafeux de forêt en Sibérie ou en Amérique du Nord. À nos latitudes tempérées, des canicules et sécheresses inédites peuvent survenir comme c'est le cas au Canada, où des records de température ont été pulvérisés de plusieurs degrés le mois dernier. Normalement, ces records ne sont battus que de quelques dixièmes de degrés. C'est sans précédent de les voir être dépassés aussi brutalement, mais cela correspond bien à ce à quoi on s'attend lorsque le climat se réchauffe vite.

Le réchauffement climatique perturbe également tout le cycle de l'eau. Ainsi, même si les quantités moyennes de pluie ne changent pas forcément, elles peuvent se répartir différemment dans l'année. En France

par exemple, nous avons des hivers plus pluvieux, des étés plus secs avec des épisodes de pluie diluvienne plus fréquents et plus intenses. Chaque degré de réchauffement supplémentaire augmente de 7 % l'intensité des précipitations diluviennes.

Quelles sont les solutions préconisées par le Giec ?

C. C. Le Giec n'est pas prescriptif et ne préconise rien. Il fournit une évaluation des solutions sur la base de publications scientifiques, mais ces problématiques seront abordées dans le troisième volet du rapport actuel.

Dans le rapport du groupe 1, nous montrons que d'un point de vue géophysique, il est encore possible de limiter le changement climatique à 1,5 °C, mais nous réaffirmons avec force qu'il faut atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Nous insistons donc sur la nécessité de réduire drastiquement les émissions de CO₂, mais aussi des autres gaz à effet de serre comme le méthane ou les oxydes nitreux afin d'améliorer la qualité de l'air, avec des bénéfices immédiats pour la santé. Ce nouveau rapport du Giec apporte des informations physiques importantes pour l'évaluation des risques futurs sur toutes les régions du monde. À la lumière de ces connaissances encore plus précises, on peut considérer

► Iceberg tabulaire, vu d'avion, au milieu de la banquise disloquée, dans la mer de Ross, au large de l'Antarctique.



© PASCAL ROBERT/OTELIC/INRS PHOTO THÉQUE



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

qu'aujourd'hui toute tergiversation, tout retard ou ambition non respectée en matière de politique climatique, est irresponsable. Le changement climatique nous touche de plein fouet et nous devons nous y adapter, l'avenir est entre nos mains pour en limiter les effets.

Les rapports du Giec sont accompagnés d'un résumé aux décideurs. Comment est-il conçu ?

C. C. Un rapport compte typiquement entre 1 000 et 1 500 pages, et celui que nous venons de publier se base sur l'évaluation d'environ 14 000 articles scientifiques. Nous y joignons donc un résumé de quelques dizaines de pages qui en rassemble les conclusions les plus fortes, et traduit en un langage plus accessible les connaissances scientifiques les plus robustes et les plus pertinentes pour les décideurs afin de les guider, avec la société civile, dans leur choix des mesures à prendre.

Contrairement au cœur du rapport qui est produit de façon indépendante par les chercheurs, garants du contenu scientifique du texte final, le résumé aux décideurs doit être approuvé ligne par ligne par l'ensemble des délégués gouvernementaux. Nous avons envoyé au mois de mai une première version aux gouvernements, puis nous avons traité en retour leurs 3 200 commentaires (demandes d'éclaircissements, propositions d'ajout ou de retrait de certains contenus spécifiques). C'est cette version révisée qui est ensuite soumise à l'approbation politique sachant que, bien évidemment, le cœur scientifique du résumé n'est pas négociable. Après approbation, ce rapport n'est plus un simple rapport scientifique, mais un rapport pour l'ensemble des citoyens du monde. ▮

Pour en savoir +

Pour consulter le résumé du rapport aux décideurs (en anglais) : <https://bit.ly/3DdozkO>

Covid-19 : sur la piste des traitements

VIVANT 

BIOLOGIE De nouvelles stratégies thérapeutiques, visant le SARS-CoV-2 ou les protéines cellulaires qu'il parvient à détourner à son profit, sont à l'essai dans de nombreux laboratoires. Elles pourraient bientôt apporter des traitements plus efficaces.

PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

« L'ennemi invisible » n'est pas encore désarmé. Pour tous les spécialistes, le SARS-CoV-2 continuera à circuler parmi nous un peu à la manière des virus de la grippe et du rhume. La recherche de médicaments contre le Covid-19 reste donc nécessaire pour plusieurs raisons : l'apparition de nouveaux variants qui pourraient mettre à l'épreuve le bouclier vaccinal ; certaines catégories de la population, les personnes immunodéprimées par exemple, ne sont pas réellement protégées par les vaccins ; les gens qui refusent de se faire vacciner.

Trois grandes stratégies s'ouvrent aux laboratoires. Le repositionnement de molécules, c'est-à-dire la recherche de molécules qui pourraient avoir une activité antivirale parmi celles déjà existantes dans la pharmacopée, est la voie la plus rapide (une grande partie du développement a déjà été réalisée). Vient ensuite la recherche de nouvelles molécules antivirales spécifiques, un processus long et semé d'embûches (mettre sur le marché un médicament inédit prend en moyenne dix ans pour un investissement qui peut dépasser le milliard d'euros). Enfin, les anticorps monoclonaux pourraient eux aussi devenir des armes de choix contre le SARS-CoV-2.

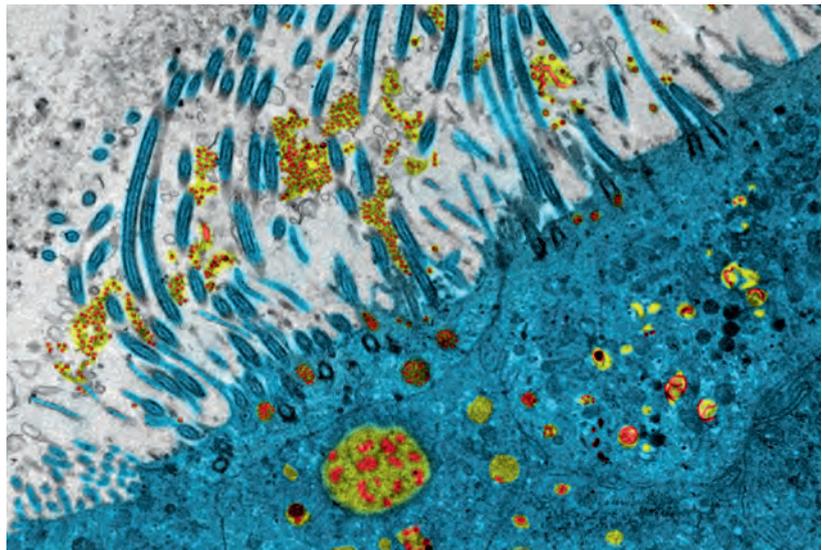
Voici quelques exemples d'avancées dans ces trois champs de recherche, des illustrations puisées parmi les nombreux projets en cours dans les laboratoires du CNRS.

Le repositionnement : puiser dans les banques de molécules

Avant le début de l'épidémie, l'équipe VirPath, du Centre international de recherche en infectiologie¹ (Ciri) à Lyon, avait déjà identifié l'efficacité du diltiazem, un antihypertenseur, contre les virus influenza. Serait-il efficace sur le SARS-CoV-2 ? Les chercheurs ont d'abord réalisé des tests *in vitro*, puis des expériences sur un modèle d'épithélium humain reconstitué. « Ce modèle est particulièrement bien adapté à l'évaluation de molécules candidates contre les virus respiratoires, et permet d'identifier les plus efficaces », explique Olivier Terrier, chercheur au Ciri et lauréat de la médaille de bronze du CNRS 2021. Enfin, les chercheurs ont réalisé une évaluation chez l'animal.

Ils ont ainsi montré que le diltiazem ne cible pas directement le virus mais induit une partie spécifique de la réponse interféron, première ligne de défense contre les pathogènes. « Cette molécule pourrait être intéressante seule, ou en association avec des antiviraux classiques qui ciblent le virus », anticipe Olivier Terrier. Elle pourrait faire partie de traitements contre un panel plus large de virus respiratoires. Ainsi, un essai clinique de phase 2 pour le traitement des formes graves de grippe vient tout juste de s'achever.

▼ Modèle d'épithélium respiratoire humain reconstitué par l'équipe VirPath (fausses couleurs), envahi par le SARS-CoV-2.



© M. ROSA-CALATRAWA/O. TERRIER/A. PIZZORNO/E. ERRAZURIZ-CERDA/N. ROSA C./VIRPATH/CIRI/SIGNIATHERAPEUTICS/INSERM/ENS LYON/CIC/UCBL1/CNRS PHOTOTHÈQUE



Autre piste à l'étude : les chercheurs du Ciri et du Centre de recherche Saint-Antoine ont découvert que le naproxène, un anti-inflammatoire et anti-douleur, interagirait avec la protéine N du SARS-CoV-2 et perturberait ainsi sa réplication.

Criblage haut débit

De son côté, le Centre d'infection et d'immunité de Lille² (CIIL) a testé par criblage haut débit, sur des cultures de cellules, l'activité antivirale des 1 942 molécules d'une large chimiothèque. Résultat : une soixantaine d'entre elles semblaient bloquer la propagation du virus. « *D'expérience, nous savons que dans ce genre de screening, on va trouver quelques dizaines de molécules antivirales. Mais toutes ne sont pas utilisables*, explique Jean Dubuisson, directeur de recherche CNRS au CIIL. *Par exemple, il y a des antidépresseurs qui ont une action antivirale, mais on sait qu'ils ne sont pas adaptés pour une thérapie. On ne peut pas attaquer le virus en affectant d'autres fonctions.* »

Les chercheurs se sont finalement focalisés sur le clofoctol, un médicament utilisé pour le traitement des infections bactériennes respiratoires. Après avoir montré *in vitro* que le clofoctol bloquait la réplication du virus, ils ont réalisé des expériences sur des souris sensibles au coronavirus. Résultat : *in vivo*, la molécule bloque toujours la réplication virale et réduit la dégradation des poumons des rongeurs ; en prime, elle présente un effet anti-inflammatoire. Un essai clinique vient d'être lancé pour son repositionnement.

▼ L'unité Médicaments et molécules des systèmes vivants (photo) fait partie d'une «Task Force Covid-19» mobilisée par l'Institut Pasteur de Lille pour trouver des molécules efficaces contre le SARS-CoV-2.

De nouvelles molécules pour de nouvelles cibles

Dès 2003, année où s'est déclarée l'épidémie de SRAS, les chercheurs du laboratoire Architecture et fonction des macromolécules biologiques³ (AFMB) se sont consacrés à l'étude des protéines du SARS-CoV-1. Ils se sont intéressés en particulier à son complexe de réplication et ont réussi l'exploit d'extraire cette machinerie pour la faire fonctionner *in vitro*. « *Grâce à ces travaux, on aurait pu, dès 2012, réaliser des criblages pour chercher des molécules antivirales* », se souvient Bruno Canard, directeur de recherche CNRS à l'AFMB. Mais, il y a dix ans, les criblages à haut débit sur des virus émergents étaient difficiles à financer, et les chercheurs sont passés à d'autres sujets.

Avec la pandémie de 2020, les travaux ont repris. Le complexe de réplication du SARS-CoV-2 étant presque identique à celui de son prédécesseur, les chercheurs ont pu se mettre rapidement au travail. « *Grâce à notre plateforme de criblage, nous avons testé environ 20 000 composés de la chimiothèque nationale* », explique Bruno Canard. Résultat : une dizaine de molécules candidates pourraient être développées pour un traitement anti-Covid-19. Ce sont là encore des résultats très préliminaires, mais l'AFMB fait à présent partie du projet européen IMI-Care, un partenariat public-privé né avec la pandémie auquel participent plus de trente partenaires et institutions scientifiques de huit pays (dont le CNRS), ainsi que les principales firmes et start-up pharmaceutiques. Grâce à

1. Unité CNRS/Inserm/Institut Pasteur Lille/Univ. de Lille/CHU Lille. 2. Unité CNRS/Univ. Claude Bernard Lyon 1/Inserm/ENS Lyon. 3. Unité CNRS/Aix-Marseille Université.

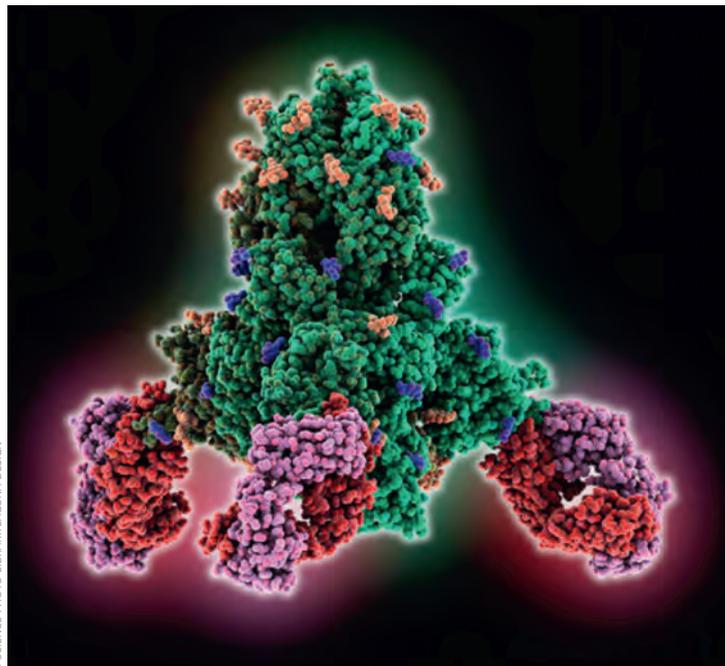
cet échange de compétences, l'étude de ces molécules est bien plus rapide. L'AFMB peut se consacrer au criblage de nouvelles molécules et à l'étude de leur mode d'action, tandis que d'autres laboratoires prennent en charge leur optimisation et les différents tests précliniques.

Antiviraux à large spectre

Avant la pandémie, les chercheurs de l'Institut de recherche en infectiologie de Montpellier⁴ (Irim) s'étaient déjà engagés dans la recherche d'une molécule efficace sur un large panel de virus à ARN. Leur cible : les protéines cellulaires que les virus détournent à leur profit pour se répliquer. Ils ont ainsi identifié une hélicase, DHX9, qui a pour fonction de dérouler les molécules d'ARN et qui est indispensable à la réplication du VIH, du chikungunya, d'Ebola, d'influenza ou encore, de la dengue. « *Nous avons utilisé des outils bio-informatiques pour identifier in silico des molécules potentiellement capables d'inactiver l'hélicase DHX9* », explique Laurent Chaloin, directeur de recherche CNRS à l'Irim. Les chercheurs ont alors testé expérimentalement leur effet antiviral avant de se concentrer sur la plus prometteuse. Avec l'arrivée de la pandémie, ils l'ont testée sur le SARS-CoV-2 et démontré que sur ce virus à ARN aussi, la molécule présentait une puissante action antivirale.

Un des avantages de cette fameuse molécule, outre son étonnant spectre d'action, est sa très faible toxicité. « *Nos essais confirment qu'en bloquant l'hélicase DHX9, on ne produit pas d'effet néfaste sur les cellules humaines*, affirme Jean-Marie Péloponèse, également chercheur CNRS à l'Irim. *On espère emmener ce travail jusqu'à la phase clinique. Ensuite, il nous faudra trouver des partenaires, start-up ou firmes pharmaceutiques, pour aller plus loin.* »

► Illustration de la protéine Spike du SARS-CoV-2 (vert) complexée avec l'anticorps monoclonal 4A8 (rouge, rose).



© SCIENCE PHOTO LIBRARY/LAGUNA DESIGN

Immunothérapies : un nouveau front contre le virus

Les anticorps sont l'une des armes les plus puissantes de notre système immunitaire. Depuis les années 1980, ils sont utilisés pour traiter diverses maladies parmi lesquelles de nombreux cancers, la maladie de Crohn et le psoriasis. Ainsi, en octobre 2020, Donald Trump a reçu un traitement expérimental basé sur des anticorps monoclonaux qui, depuis, a été adopté par plusieurs pays dont la France.

La plupart des recherches se focalisent sur la protéine Spike (S) du virus, qui lui permet de s'attacher et d'infecter les cellules de son hôte. Mais inactiver Spike peut avoir des effets inattendus. C'est ce qu'a montré une équipe franco-singapourienne avec la participation de l'équipe VirPath. Lors de leurs expériences, ils ont criblé *in vitro* une banque d'anticorps ciblant le domaine de Spike qui lui permet de s'attacher aux cellules. Certains étaient très efficaces mais d'autres, qui s'attachaient tout aussi bien, stimulaient la fusion membranaire et la formation de syncytia, des cellules fusionnées possédant donc plusieurs noyaux et pouvant accentuer les dommages tissulaires chroniques observés chez les patients. « *L'utilisation thérapeutique d'anticorps présente un énorme potentiel, mais nos travaux soulignent l'importance d'un travail de caractérisation préclinique en amont, pour éviter des effets indésirables* », avertit Olivier Terrier.

Apaiser le système immunitaire

À l'Institut Cochin, les chercheurs étudient une autre piste : ils tentent de moduler la réponse immunitaire des patients. En effet, dans de nombreux cas graves de Covid-19, c'est la réaction disproportionnée des défenses de l'organisme qui compromet la survie des malades. En cause, une catégorie de cellules tueuses du système immunitaire, les cellules MAIT, qui s'accumulent dans les poumons et peuvent s'attaquer aussi bien aux cellules infectées qu'aux cellules saines. « *Nous avons identifié deux anticorps monoclonaux capables d'inactiver les MAIT*, annonce Agnès Lehuen, directrice de recherche CNRS à l'Institut Cochin. *Le premier est déjà commercialisé par la firme GSK pour le traitement de certains cas graves de la maladie de Crohn. Le deuxième est encore expérimental et n'a fait l'objet que d'essais précliniques.* »

De tous les anticorps et molécules anti-Covid-19 étudiés dans les laboratoires, impossible de dire lesquels seront un jour administrés aux patients. Cependant, l'importance de ces travaux va au-delà du développement de stratégies thérapeutiques : « *On apprend énormément de choses sur les virus à chaque fois que l'on découvre une nouvelle molécule antivirale*, rappelle Bruno Canard. *On obtient des informations sur leur structure et leurs interactions avec notre organisme.* » Des outils et des connaissances qui pourraient s'avérer cruciaux si une prochaine pandémie venait à se déclarer. ||



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

4. Unité CNRS/Université de Montpellier.

Une reconstruction mammaire sur mesure

VIVANT  NUMÉRIQUE 

INNOVATION Pour les femmes ayant subi une mastectomie après un cancer du sein, la start-up Healshape développe un implant mammaire imprimé en 3D, adaptable à toutes les morphologies. Son ambition : reconstruire l'ensemble du sein à partir des cellules de la patiente.

PAR SOPHIE FÉLIX

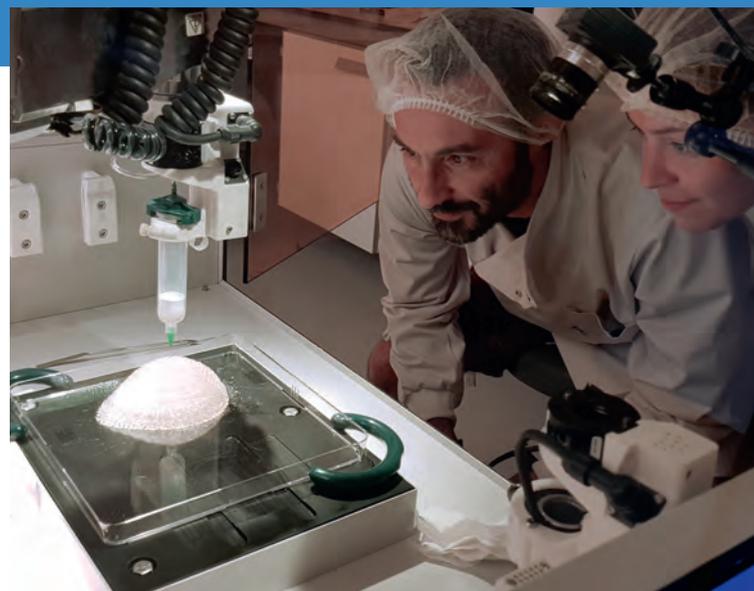
Le cancer du sein est le premier cancer chez la femme en France. Chaque année, plus de deux millions de femmes sont diagnostiquées dans le monde et 40 % d'entre elles subissent une mastectomie, c'est-à-dire l'ablation totale d'un sein, afin d'aider à la guérison. Mais, bien que plusieurs techniques existent aujourd'hui pour cela, seule une minorité choisit une reconstruction mammaire à l'issue de l'intervention chirurgicale, par crainte de complications médicales ou de résultats esthétiques non satisfaisants.

Créée en janvier 2020 à Lyon, la start-up Healshape entend répondre à ces craintes avec une solution innovante de reconstruction mammaire qui s'appuie sur des technologies de bio-impression et d'ingénierie tissulaire avancée.

Une bioprothèse résorbable

Healshape développe ainsi une bioprothèse fabriquée à partir d'un hydrogel résorbable en matière naturelle. Cet implant imprimé en 3D sera adaptable à toutes les morphologies. Une fois la prothèse placée, les propres cellules de la patiente, issues d'un transfert de graisse, iront coloniser la forme personnalisée et recréer du tissu mammaire, en même temps que la bioprothèse se résorbera. « La femme retrouvera son propre sein en six à neuf mois, sans aucune trace de la bioprothèse », assure Sophie Brac de la Perrière, CEO de Healshape, qui espère « aider ces femmes à s'accepter et à aimer à nouveau leur image ».

1. Unité CNRS/Université Claude Bernard Lyon 1. 2. Issue du Laboratoire des substituts cutanés (Hospices Civils de Lyon).



© HEALSHAPE

Le greffon est réalisé par des techniques d'impression 3D, à partir de cellules prélevées sur la patiente avant l'opération.

Cette innovation de médecine régénérative s'appuie sur les travaux en bio-impression issus d'une collaboration entre le groupe de recherche de Christophe Marquette, directeur de recherche au CNRS à l'Institut de chimie et biochimie moléculaires et supramoléculaires¹ et responsable de la plateforme 3d.FAB, et la société LabSkin Creations², spécialiste en ingénierie tissulaire avancée de la peau et du tissu adipeux.

Une encre biologique brevetée

Les partenaires ont créé ensemble l'encre biologique brevetée, dont le CNRS est co-déposant, qui permet la reconstruction par bio-impression : « Au départ, la technologie a été conçue pour imprimer des substituts de la peau. Pour le projet de Healshape, il a fallu adapter le procédé à l'impression de volumes, et mettre au point la consolidation de l'encre biologique après impression, de manière compatible avec l'implantation dans le corps », indique Christophe Marquette.

Healshape bénéficie aujourd'hui d'une licence exclusive sur ce brevet et ce savoir-faire avec six cofondateurs – dont Christophe Marquette, les fondateurs de LabSkin Creations, mais aussi une pharmacienne et un chirurgien. Incubée par l'accélérateur d'innovations deep tech Pulsaly et par Les Premières AURA qui accompagne les femmes et les équipes mixtes dans la création et le développement de leurs entreprises innovantes, Healshape a été lauréate du concours national d'innovation i-Lab en 2020. Pour le moment, la start-up est au stade préclinique et espère commencer les essais cliniques d'ici deux ans. ||

Cap sur la nouvelle IA

RECHERCHE Porté par CNRS@CREATE, filiale du CNRS basée à Singapour, un vaste projet collaboratif sur l'Intelligence artificielle hybride débutera fin 2021.

PAR LAURENCE STENVOT

DesCartes. Derrière ce nom très français se cache un des plus grands projets collaboratifs du CNRS : le « Program on Intelligent Modelling for Decision-making in Critical Urban Systems », dédié à l'Intelligence artificielle (IA) hybride. Avec 35 millions d'euros sur cinq ans, ce programme vient d'être sélectionné par le gouvernement singapourien et sera basé sur le Campus for research excellence and technological enterprise (Create), son hub international de recherche. Il implique, côté français, le CNRS ainsi que 11 universités et grandes écoles¹, côté singapourien, cinq universités² et l'institut A*STAR³, et également plusieurs industriels⁴. « Ce programme ambitieux est notre façon de fixer nos priorités. Ce n'est pas une réponse à un appel à projets, mais bien le CNRS qui a fait une proposition à la National Research Foundation (NRF) », précise Dominique Baillargeat, directeur de CNRS@CREATE, première filiale du CNRS à l'étranger.

Une ambition commune

L'objectif principal de DesCartes, porté par le professeur Francisco Chinesta, concerne la prise de décision dans les « systèmes critiques urbains », un des nombreux défis de recherche lié à la « ville intelligente ». « Le hub singapourien Create n'avait pas de projet sur cette thématique. Avec DesCartes, le CNRS se fait une belle place au sein du campus tout en répondant à des besoins identifiés par Singapour pour mettre en place sa politique de ville intelligente à l'horizon 2030 », explique Dominique Baillargeat. Les deux pays ont récemment entamé un partenariat fort autour de la

recherche en IA en se concentrant sur quatre domaines : les données et leurs applications, l'IA vérifiable et explicable, le traitement du langage naturel et l'interaction homme-machine. « Il s'agit réellement de croiser les expertises fortes des deux pays », indique Dominique Baillargeat.

Descartes va développer des méthodes d'IA hybrides, associant l'IA à des modèles basés sur la connaissance (physique, ingénierie) pour permettre une prise de décision en confiance et en temps réel « centrée sur les personnes » et « en harmonie avec la société. » Le tout en réponse à des situations complexes liées aux systèmes urbains critiques dans le contexte de la « Smart Nation » de Singapour.

Une technologie adaptée aux villes intelligentes

« Nous visons par exemple à développer des solutions pour optimiser l'offre à la demande du réseau d'électricité, ou pour fluidifier la circulation de drones-taxis ou de drones de livraison, ou encore développer une maintenance prédictive intelligente appliquée aux outils industriels », explique Dominique Baillargeat. Des systèmes dans la ville qui sauront analyser des données sur l'utilisation des services par la population puis prendre des décisions d'optimisation. Ces outils seront développés par une trentaine de doctorants et une cinquantaine de postdocs en plus des quatre-vingts enseignants-chercheurs et chercheurs singapouriens et français, dont une partie sera basée à Singapour grâce à des séjours longue durée financés par le programme.

« Singapour est l'endroit idéal pour démontrer que l'IA hybride est une technologie de rupture adaptée aux infrastructures critiques des villes intelligentes », ajoute le directeur de CNRS@CREATE. L'ambition de DesCartes est de déployer cette technologie sur des cas d'étude à l'échelle industrielle en impliquant les agences gouvernementales et les industries locales. « Mais bien évidemment, les applications seront mondiales », conclut-il. ||

Lire l'intégralité de l'article sur CNRS info : <https://bit.ly/2TKXIAN>

1. Univ. Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, Univ. Toulouse III - Paul Sabatier, Univ. Lyon III - Jean Moulin, Univ. Côte d'Azur, Univ. de Bordeaux, École nationale de l'aviation civile, PSL, Univ. de Strasbourg, Arts et Métiers, Univ. Grenoble Alpes, INP Grenoble et INP ENSEEIHT. 2. NTU, NUS, Singapore University of Technology and Design, Singapore University of Social Sciences, Singapore Management University. 3. Agency for Science, Technology and Research. A*STAR est l'agence nationale singapourienne de R&D. 4. ARIA, CETIM, EDF Lab Singapore, ESI Group and Thales & Thales Solution Asia.

Un nouveau plan pour la parité

© FRÉDÉRIQUE PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE



La Mission pour la place des femmes au CNRS fête ses 20 ans cette année. Si la parité a progressé sur cette période, le nouveau plan d'action pour l'égalité entend aller encore plus loin.

PAR SOPHIE FÉLIX

En 2020, le CNRS comptait 43,1 % de femmes dans ses personnels. S'il n'a pas encore atteint la parité, l'organisme multiplie les initiatives pour la promouvoir depuis vingt ans. Le CNRS fut en effet le premier organisme de recherche français à créer une structure dédiée à l'égalité professionnelle entre les femmes et les hommes, la Mission pour la place des femmes (MPDF), dès 2001. Puis, en mars 2014, il prend à nouveau les devants en mettant en place un plan d'action institutionnel pour la parité femmes-hommes, un dispositif devenu obligation légale dans le cadre de la loi de transformation de la fonction publique de 2019.

Un engagement collectif

« La politique volontariste d'égalité professionnelle femmes-hommes du CNRS est fortement soutenue au plus haut niveau », assure Élisabeth Kohler, directrice de la mission. « Agir en faveur de la parité à tout moment de la carrière est un enjeu dont doivent s'emparer tous les instituts et toutes les directions du CNRS,

▼ Au CNRS, 34,4 % des chercheurs sont des chercheuses.

chacun agissant en fonction des spécificités de son domaine d'action. C'est l'un des enjeux du comité parité-égalité que de proposer des actions concrètes au directoire », précisent Martina Knoop et Emmanuel Royer qui co-président le comité créé fin 2018.

De belles avancées mais des progrès encore « lents »

Le CNRS peut mettre en avant une amélioration sur les dernières décennies, en particulier les dernières années : la parité est ainsi atteinte pour la catégorie des ingénieurs et techniciens avec 50,2 % de personnels féminins en 2020 ; l'écart de salaire a diminué entre 2018 et 2019 dans des proportions inédites ; et les médailles remises par l'organisme montrent une attribution équilibrée. Le plafond de verre diminue également avec des proportions de directrices de recherche et d'ingénieures de recherche qui progressent, ces dernières passant de 27,7 % en 2000 à 32,4 % en 2020.

Mais « les progrès restent lents », regrette Élisabeth Kohler. Si 34,4 % des chercheurs sont des chercheuses, celles-ci ne représentent encore que 30,6 % des directeurs de recherche – soit quand même dix points de plus

qu'en 2000 – et 22,8 % des directeurs de recherche de classe exceptionnelle, le plus haut grade obtenu par promotions successives. Et seules 22,4 % des unités sont dirigées par des femmes en 2019. La variabilité est également forte selon les domaines scientifiques, la part des chercheuses passant de 18 % en mathématiques à 43 % en sciences biologiques et 48 % en SHS.

Pour une culture de l'égalité

Pour continuer à améliorer la carrière des femmes au CNRS, le nouveau plan d'action pour l'égalité (2021-2023) de la MPDF a pour ambition de « créer une véritable émulation et un vrai suivi », afin que tous les agents s'approprient cette culture de l'égalité dans tous les instituts, toutes les délégations régionales et toutes les unités. Des écarts de rémunération à la lutte contre les violences sexuelles et sexistes, le harcèlement et les discriminations, en passant par l'égal accès aux corps, grades et emplois, ou encore l'articulation entre vies professionnelle, personnelle et familiale, ce plan propose des actions concrètes, des outils de diagnostics, de prévention, de sensibilisation et de suivi pour assurer une meilleure place des femmes au sein de l'organisme. ▮

Pour en savoir +

Retrouvez le plan d'action pour l'égalité 2021-2023 : <https://mpdf.cnrs.fr/roadmap/>

Quand un trou noir rencontre une étoile à neutrons

UNIVERS

ASTROPHYSIQUE Les observatoires Ligo-Virgo ont annoncé les toutes premières observations de la coalescence entre un trou noir et une étoile à neutrons.

Ces découvertes ouvrent la voie à une meilleure compréhension de la formation et de l'évolution de ces corps compacts.

PAR YAROSLAV PIGENET

Cinq ans après leur toute première détection d'une coalescence entre deux trous noirs, les observatoires d'ondes gravitationnelles Ligo et Virgo ont annoncé le 29 juin avoir observé pour la première fois des fusions d'un trou noir et d'une étoile à neutrons. Prédits par la théorie, ces types particuliers de systèmes binaires compacts mixtes – composés d'une étoile à neutrons et d'un trou noir – n'avaient encore jamais été observés.

« Jusqu'ici nous n'avions observé que des paires de trous noirs ou des paires d'étoiles à neutrons par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques ou gravitationnelles, explique Astrid Lamberts, chercheuse au CNRS au laboratoire J.-L. Lagrange¹ et membre de la collaboration Virgo au sein de l'Observatoire de la Côte d'Azur à Nice. *La paire entre trou noir et étoile à neutrons restait le couple manquant.* » L'étude de ces systèmes binaires mixtes devrait permettre aux astrophysiciens de mieux comprendre et modéliser leur prévalence, leurs origines et leur évolution.

Dix-huit mois pour une double découverte

En janvier 2020, les observatoires Advanced Virgo en Italie et Advanced Ligo à Livingston (États-Unis) ont enregistré à dix jours d'intervalle les signaux d'ondes gravitationnelles produites par les derniers instants d'une collision entre deux corps compacts. Après dix-huit mois, dont plusieurs d'analyses et de modélisations menées conjointement par les chercheurs des collaborations Ligo aux États-Unis, Virgo en Europe et Kagra au Japon, ces deux événements, baptisés GW200105 et GW200115, se sont révélés être la toute première observation de la coalescence d'un trou noir et d'une étoile à neutrons.

Ces analyses ont ainsi montré que GW200105 était issu de la collision de deux corps compacts pesant, respectivement, 8,9 et 1,9 masses solaires. Quant à GW200115, il signe la coalescence entre deux corps de 5,7 et 1,5 masses solaires. Pour chacun de ces deux événements, le corps le plus lourd de la paire correspond bien à la masse attendue d'un trou noir tandis que la masse du plus léger rentre

dans l'intervalle attendu pour les étoiles à neutrons. Ces événements avaient donc vraisemblablement pour origine des paires mixtes trou noir/étoile à neutrons.

« En analysant la forme de l'onde gravitationnelle, on peut mesurer les masses des deux objets qui ont fusionné. Or, pour ces deux événements, la masse de l'objet plus léger est dans l'intervalle des masses des étoiles à neutrons déjà détectées et elle est aussi compatible avec les modèles d'évolution de ces systèmes mixtes, explique Matteo Barsuglia, directeur de recherche au CNRS au laboratoire Astroparticule et cosmologie² et responsable pour la France de la collaboration Virgo. *La détection, dans la forme de l'onde gravitationnelle, d'une trace issue de la déformation de l'objet plus léger ou bien de la dislocation de celui-ci, aurait pu constituer une preuve ultérieure et directe qu'il s'agit bien d'une étoile à neutrons. Mais cette trace n'a pas été détectée, ce qui est tout à fait normal pour GW200105 et GW200115, compte tenu de la sensibilité des détecteurs, de la distance des astres et du rapport de leurs masses. Quand nos interféromètres auront gagné suffisamment de sensibilité, dans les campagnes d'observations futures, nous espérons pouvoir détecter ces "effets de marée", qui n'affectent que les étoiles à neutrons. Des effets de marée dont l'analyse permettra aussi en plus de mieux comprendre la structure interne des étoiles à neutrons.* »

On aurait pu avoir une confirmation supplémentaire de cette double découverte via un tout autre type d'instruments. En effet, à la différence des paires de trous noirs – qui n'émettent rien dans le spectre électromagnétique –,

1. Unité CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Côte d'Azur 2. Unité CNRS/Université de Paris.



© CARL KNOX, OZGRAV / SWINBURNE UNIVERSITY

▼ **Vue d'artiste
d'une fusion
entre un trou noir
et une étoile à
neutrons.**

les systèmes mixtes peuvent émettre des signaux potentiellement visibles par nos télescopes classiques, comme ce fut le cas pour l'événement GW170817 dont la source était la collision de deux étoiles à neutrons. Toutefois, dans ce cas, la direction des sources n'a pas pu être établie avec suffisamment de précision pour avoir un pointage efficace des télescopes, et aucune lumière n'a été détectée à la suite de ces événements.

Deux scénarios de formation

Les astrophysiciens disposent de deux grands scénarios décrivant la formation des paires trou noir/étoile à neutrons. Le premier, appelé évolution binaire isolée, postule que le couple a d'abord été une étoile double dont l'une a fini par évoluer en trou noir, l'autre en étoile à neutrons. Le second, appelé interaction dynamique, implique une formation tardive de la paire, de deux corps jusque-là indépendants que l'interaction gravitationnelle a mis en orbite mutuelle suite à une rencontre fortuite.

Pour trancher entre ces deux scénarios, l'analyse des ondes gravitationnelles donne accès à une autre information cruciale : le sens de rotation des trous noirs (spin). Dans le cas d'une évolution binaire, on s'attend ainsi à ce que le trou noir ait un spin aligné avec l'orbite de son binôme. Tandis que dans le cas d'une interaction dynamique, les deux orientations sont indépendantes. L'analyse de l'événement GW200115 indique que le trou noir

tournait dans le sens des aiguilles d'une montre tandis que l'étoile à neutrons orbitait en sens inverse. Ce système s'est donc probablement formé lorsque le trou noir a « capturé » gravitationnellement l'étoile à neutrons.

Nouvelles perspectives

« Le dernier cycle d'observation, qui s'est achevé en mars 2020, nous a déjà permis de découvrir de nouveaux types de sources, comme celle que nous venons d'annoncer, mais aussi d'établir un deuxième catalogue de sources d'ondes gravitationnelles, avec 39 sources auxquelles s'ajoutent les 11 sources détectées dans les campagnes précédentes », précise Matteo Barsuglia. Et l'analyse de la deuxième partie de la campagne n'est pas terminée. « Le prochain cycle doit débuter mi 2022 avec des interféromètres encore plus sensibles : on s'attend alors à détecter des centaines d'événements. Ce qui va constituer un vrai changement de perspective, s'enthousiasme le chercheur. Bien sûr, nous espérons détecter de nouveaux types de sources, mais nous ferons surtout plus d'études globales et statistiques sur les populations des sources, ce qui permettra entre autres d'affiner notre connaissance des scénarios de formation, de certains aspects de l'évolution stellaire mais aussi de faire de la cosmologie et des tests poussés de la relativité générale. » II

+

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

L'impact du Brexit sur la recherche européenne

Après le Brexit, le Royaume-Uni devient un État associé au nouveau programme-cadre européen pour la recherche et l'innovation, Horizon Europe. Ce qui pose de nouveaux défis à la recherche européenne et française.

PAR LAURENCE STENVOT

Le 24 décembre 2020, le Parlement européen a ratifié l'accord de commerce et officialisé la place du Royaume-Uni comme État associé au nouveau programme-cadre européen pour la recherche et l'innovation, Horizon Europe (2021-2027), doté d'un budget de 95,5 milliards d'euros. Cet accord permet la participation du pays à Horizon Europe mais aussi à divers programmes de l'Union européenne, et ce sous les mêmes conditions que les États membres.

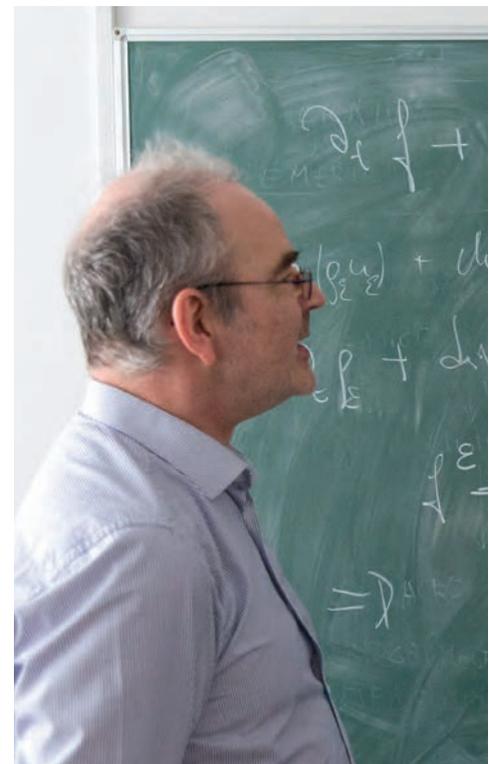
En tête des financements européens

Un véritable soulagement pour les chercheurs britanniques, mais aussi du côté de l'Europe, car le Royaume-Uni est « le deuxième plus grand bénéficiaire du financement du précédent programme de recherche Horizon 2020, derrière l'Allemagne, recevant environ 7,4 milliards d'euros, explique Linda

Newman, conseillère scientifique à l'ambassade du Royaume-Uni à Paris. *C'est une nouvelle très positive.* »

« Le modèle de l'ESR britannique – dans lequel les acteurs de la recherche sont intégrés au sein d'universités puissantes et très bien financées – est un modèle phare qui s'est disséminé dans le monde, notamment aux États-Unis, et qui a fait ses preuves », souligne Minh-Hà Pham, conseillère pour la science et la technologie à l'ambassade de France à Londres. Cela se voit en nombre de publications¹, de brevets et de prix Nobel, mais également dans les classements internationaux – Oxford et Cambridge sont chaque année dans le Top 5 du classement de Shanghai.

Si le pays arrive largement en tête pour les financements européens, notamment ERC², sa part diminue progressivement dans les projets collaboratifs européens depuis le vote du Brexit en 2016 (821 programmes coor-



donnés en 2015, 447 en 2019). Pour inverser la tendance, « nous encourageons les chercheurs français à travailler avec leurs homologues britanniques afin de soumettre des propositions de projets », explique Linda Newman.

« Un partenaire incontournable du CNRS »

Le Royaume-Uni est en effet un partenaire stratégique pour la France (quelque 3 000 chercheurs français y travaillent actuellement) mais aussi pour le CNRS : « Le Royaume-Uni est un partenaire incontournable du CNRS et son troisième partenaire en termes de copublications au niveau mondial³ », souligne Chantal Khan Malek, responsable Europe bilatérale au CNRS. Réciproquement, le CNRS est aujourd'hui le deuxième partenaire du Royaume-Uni en termes de publications conjointes.

Les deux implantations d'International Research Laboratories (IRL) sur le sol britannique – le Laboratoire Abraham de Moivre en mathématiques en partenariat avec l'Imperial College London, et la Maison française d'Oxford en sciences humaines et sociales en partenariat avec l'univer-

1. Le Royaume-Uni est le premier pays européen en termes de publications avec plus d'1 million. Sources: InCites, Web of Science – 2015-2019. 2. En 2019, le Royaume-Uni remportait plus de 2 000 bourses du Conseil européen de la recherche devant la France avec 1 200 bourses. 3. Les copublications du CNRS avec les institutions britanniques représentent environ 10 % des publications du CNRS (environ 5 000 copublications en 2019; source: InCites).



© T. ANGUS / IMPERIAL COLLEGE LONDON

sité d'Oxford – sont deux exemples de l'importance de la collaboration bilatérale et de la volonté d'un engagement approfondi et durable. « Depuis l'annonce du Brexit, les Britanniques sont plus demandeurs d'accords avec les pays européens. Nous sommes actuellement dans une position favorable dont il faut tirer parti pour assurer de nouveaux partenariats », note Chantal Khan Malek.

Une inquiétude tout de même pour les chercheurs britanniques : l'accord stipule que le Royaume-Uni devra participer au budget d'Horizon Europe en payant une somme proportionnelle à son PIB – somme estimée à 2 milliards de livres sterling. Mais si le pays devait recevoir une somme supérieure à celle de sa contribution (au-delà de 8 % au cours de deux années consécutives), il devrait rembourser la différence.

Des frontières réelles pour la recherche

Fait marquant, le pays quitte le programme Erasmus. Conséquence pour les chercheurs européens souhaitant s'y installer : ils devront passer par un visa à système de points pour travailleur qualifié, ou le Global Talent visa, encore plus rapide pour une installation permanente. « Aujourd'hui, il y a des risques que le Royaume-Uni se détourne vers des partenaires améri-

► Discussion autour d'équations à l'IRL Abraham de Moivre en mathématiques.

cains, australiens ou asiatiques, craint Minh-Hà Pham. Nous entrons dans une compétition internationale, mais notre chance est de rester géographiquement proche et de bénéficier de liens anciens et de confiance. Pour autant, il faudra mettre en place un certain nombre de structures pour assurer ces liens. »

Concernant les étudiants, le Royaume-Uni a lancé son propre programme de mobilité, Turing. Doté d'un budget de 110 millions de livres sterling, il devrait faire voyager 35 000 étudiants britanniques. « La France va y perdre car les étudiants britanniques vont privilégier les formations anglophones internationales. Quant aux étudiants français voulant étudier dans les universités britanniques, ils devront payer trois fois plus qu'un Britannique », explique Minh-Hà Pham. Pour assurer une continuité des échanges d'étudiants, « le gouvernement britannique mise sur la création d'accords entre universités britanniques et universités internationales partenaires », précise Linda Newman. ■



Lire l'intégralité sur CNRS info : <https://bit.ly/3e2CX4C>

En bref

Le CNRS et la Polynésie française, un partenariat renforcé

Le 29 juillet, la toute première convention-cadre entre le CNRS et la Polynésie française a été signée sur l'île de Tahiti pour 5 ans. Elle vise à mettre en avant les potentiels apports de la recherche pour ce territoire d'Outre-mer français, et souligne l'importance pour les équipes françaises de ce terrain de recherche unique au monde, territoire sentinelle des grands bouleversements, notamment pour le réchauffement climatique et la biodiversité. Deux jours plus tôt, Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, y avait accueilli le président de la République, Emmanuel Macron, au Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement (Criobe, CNRS/EPHE-PSL/UPVD).

WEAVE : un instrument pour l'analyse des lumières de l'Univers

Soutenu en France par le CNRS, l'Observatoire de Paris – PSL et l'Observatoire de la Côte d'Azur, le spectrographe WEAVE est arrivé à destination aux Canaries. Ce nouvel instrument répondra aux besoins de la communauté des astronomes pour observer l'Univers. Après une phase de tests de ses composants qui a confirmé l'excellence de ses capacités, il devrait commencer à observer le ciel en octobre 2021.

Une action collaborative en SHS de la santé

Le CNRS, en collaboration avec l'Ined, l'EPHE, l'EHESS, l'université Sorbonne Paris Nord, l'EHESP et le Cnam, a lancé une nouvelle plateforme en sciences humaines et sociales sur la thématique de la santé. Mise en place à l'automne 2020 et financée par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (Mesri), la plateforme SHS Santé, positionnée au sein de l'hôtel à projet du campus Condorcet, est orientée vers trois thématiques : l'engagement des patients et du public dans l'organisation des services et dans l'élaboration des politiques publiques et la recherche ; les effets des mutations structurelles, notamment environnementales, climatiques, démographiques, sur la santé humaine et les modes de vies ; et les enjeux de la mise en œuvre des politiques publiques de santé au niveau territorial, en particulier en lien avec les inégalités de santé. Trois axes donnant lieu à différents appels à projet, contrats de recherche et colloques.

<https://www.inshs.cnrs.fr/fr/plateforme-shs-sante>

Les maths au secours de la planète

TERRE ■ NUMÉRIQUE ■

RECHERCHE Modéliser les phénomènes naturels ou les écosystèmes, interpréter les masses de données... les mathématiques ont un rôle majeur à jouer face à l'urgence environnementale. Pour favoriser la collaboration entre disciplines, le CNRS et ses partenaires ont créé l'Institut des mathématiques pour la planète Terre.

PAR MARTIN KOPPE

Si l'on retrouve des mathématiques dans tous les domaines de la science, elles ne sont pas forcément sollicitées au maximum de leur potentiel. Avec les graves problèmes environnementaux qui menacent la Terre et ses habitants, la science ne peut plus se permettre de délaissier des outils aussi puissants.

Une démarche fédératrice

Des mathématiciens se sont donc progressivement fédérés pour faciliter le dialogue avec leurs collègues d'autres disciplines, un mouvement qui a abouti le 20 mai à la création d'un groupe d'intérêt scientifique : l'Institut des mathématiques pour la planète Terre (IMPT). « *Les mathématiques se sont toujours nourries d'interactions avec les autres disciplines, avance Arnaud Guillin, membre du Laboratoire de mathématiques Blaise Pascal¹ et qui assure également la direction exécutive de l'IMPT. Les échanges avec les sciences de la planète Terre se sont amplifiés après une première initiative, lancée en 2013 par Didier Bresch² pour fédérer les chercheurs et chercheuses en mathématiques de la région Auvergne-Rhône-Alpes.* »

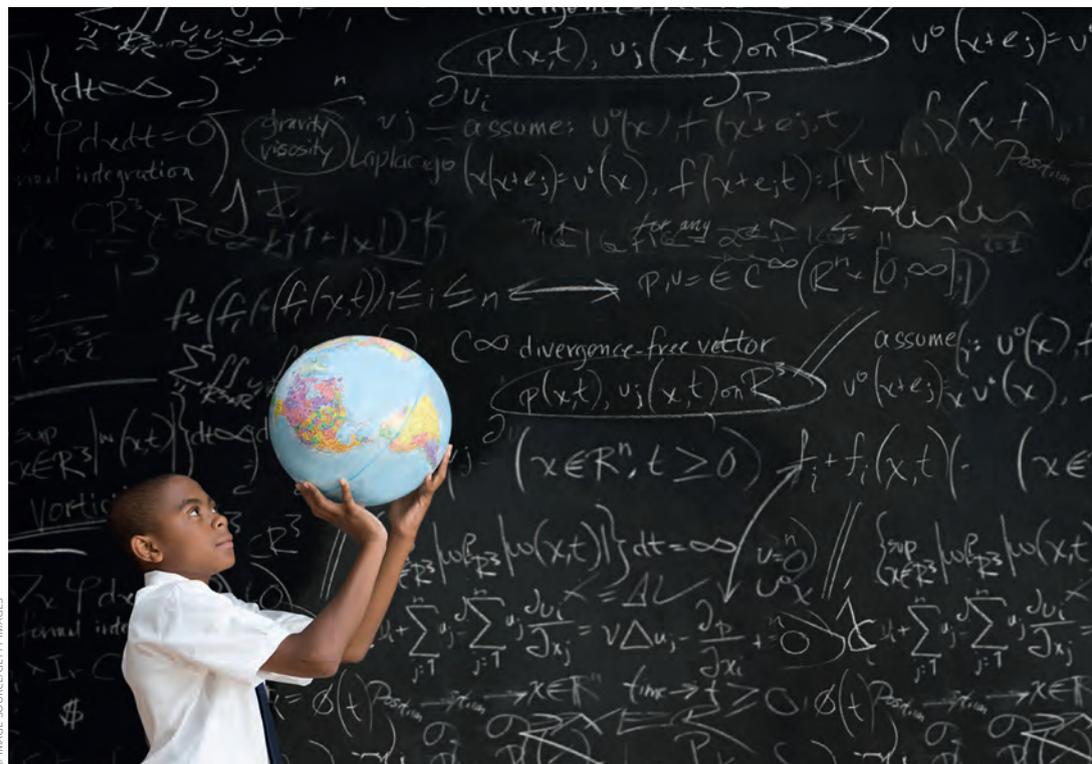
L'initiative a ensuite pris une envergure nationale. Inscrit par le CNRS dans le Contrat d'objectif et de performance 2019-2023, chapeauté par l'Institut national des sciences mathématiques

et leurs interactions (Insmi) du CNRS, et ayant pour partenaires les universités Claude Bernard, Grenoble Alpes, Clermont Auvergne, Savoie Mont-Blanc, Jean Monnet et l'ENS Lyon, cet institut national hors les murs est chargé de différentes missions d'ani-

mation scientifique et de formation continue. Des appels à projets de recherche ont également été lancés et seront régulièrement proposés.

Des compétences pour toutes les sciences

Trois grands thèmes structurent l'IMPT : la Terre vivante, la Terre humaine et la Terre physique. Si des collaborations sont déjà bien établies avec les (géo)physiciens et certaines branches de la biologie, les communautés issues des sciences humaines et sociales ont moins souvent le réflexe de solliciter les mathématiciens. Leur discipline offre pourtant la capacité de modéliser des systèmes extrêmement complexes, ainsi que d'interpréter d'importantes masses de données, dans des domaines aussi variés que le changement climatique,



1. Unité CNRS/Univ. Clermont Auvergne. 2. Directeur de recherche au Laboratoire de mathématiques (CNRS/Univ. Savoie Mont-Blanc). 3. Unité CNRS/Bordeaux INP/Inria. 4. CNRS/Univ. Jean Monnet/Univ. Claude Bernard/Centrale Lyon/Insa Lyon.



Lire l'intégralité de l'article
sur CNRS info : <https://bit.ly/3zXt6WJ>

les menaces sur la biodiversité ou l'état de la banquise et de l'atmosphère. « L'IMPT est en cours de finalisation et une dizaine de projets, essayant de répondre à des questions scientifiques difficiles, devraient être financés l'année prochaine, poursuit Arnaud Guillin. Certains commenceront d'ailleurs dès le mois de septembre. »

Le chercheur, lui-même spécialisé dans des approches très théoriques des probabilités et des statistiques, a progressivement été sollicité sur des cas bien concrets, notamment en matière de vulcanologie afin de mieux comprendre la propagation des nuages de cendres et des coulées de pyroclastes provoqués par des éruptions. « Depuis une dizaine d'années, les mathématiques et les autres sciences ont davantage pris conscience de l'intérêt de renforcer leur collaboration, souligne-t-il. Cela s'est d'ailleurs vérifié avec la pandémie de Covid-19, qui a mis en avant le rôle de la modélisation en temps d'épidémie via une approche pluridisciplinaire. »

Une volonté de rapprochement

Mais pour que la démarche fonctionne, les chercheurs des différentes disciplines doivent se comprendre malgré les différences entre leurs approches. « La vocation de l'IMPT n'est pas seulement de financer des projets de recherche, des thèses et des postdocs, mais aussi de créer une communauté transversale de chercheurs qui s'intéressent à notre environnement, qu'il soit écologique, physique ou humain, appuie Laure Saint Raymond, professeure à l'ENS Lyon, membre de l'Académie des sciences et directrice de l'IMPT. Toutes ces problématiques sont entrelacées de façon complexe, il faut abattre les barrières entre les disciplines. » L'institut est d'ailleurs doté d'un conseil scientifique et d'un bureau dont les membres couvrent un large périmètre de thématiques.

Mathématicienne et physicienne de formation, Laure Saint Raymond étudie les problèmes de mécanique des fluides, et les équations aux dérivées partielles qui servent à les modéliser. « Ces équations sont si compliquées que, dès qu'elles décrivent des systèmes un peu grands, on ne peut plus les résoudre entièrement, même avec un supercalculateur, déplore-t-elle. Or nous en avons besoin pour modéliser

le climat et les océans à grande échelle. En identifiant les phénomènes les plus importants, selon les échelles considérées, on tire un comportement moyen sans avoir à calculer tous les détails. »

De son côté, David Lannes, directeur de recherche à l'Institut de mathématiques de Bordeaux³ et membre du comité scientifique (CS) de l'IMPT, mène des travaux avec des océanographes, qui ont progressivement trouvé des applications dans le cadre des énergies marines renouvelables. « Nous essayons de comprendre l'impact des vagues sur des structures telles que éoliennes au large et, à l'inverse, l'effet de telles installations sur les courants et les champs de vagues, explique le chercheur. Dès que l'on déploie de telles machines, l'énergie n'est jamais parfaitement verte et il faut mesurer leur impact, par exemple sur l'érosion des côtes. »

Des synergies utiles à la société

« Les mathématiques aident à donner du sens aux données et à tester des hypothèses, complète Vincent Calvez, directeur de recherche à l'Institut Camille Jordan⁴ et membre du CS de l'IMPT. Si la transcription en équations relève parfois du simple bon sens, leur analyse se complique rapidement en présence de phénomènes de rétroaction. » Pour étudier les déplacements collectifs de microorganismes où les mouvements de l'ensemble sont très différents de ceux des individus qui le composent, il utilise des outils venus de la théorie des gaz, puis confronte équations et expériences.

Pour les chercheurs et chercheuses impliqués, l'imbrication des disciplines offre d'excellents résultats. « Je sens que la communauté des mathématiciens accueille d'un très bon œil l'arrivée de l'IMPT, se réjouit Arnaud Guillin. C'est une reconnaissance de notre travail de la part des autres sciences, nous sommes justement attachés à montrer à quel point la recherche en mathématiques est un domaine vivant et utile à la société. » II

Pour en savoir +

le site de l'IMPT :
<https://impt.math.cnrs.fr>

En bref

Le CNRS dans le top 5 des entreprises innovantes

Le classement annuel de l'institut de sondage international Universum, des employeurs les plus attractifs pour les cadres issus des grandes écoles de commerce et d'ingénieurs, place le CNRS au 5^e rang des entreprises perçues comme innovantes sur 130 entreprises.

Accord-cadre avec le CEA

Le 22 juillet, le CNRS et le CEA ont signé un nouvel accord-cadre qui vient renforcer et actualiser une collaboration fructueuse de longue date. Signé pour 5 ans, ce nouvel accord-cadre remplace le précédent datant de 1995. Il permet ainsi de mettre à jour, d'harmoniser et de simplifier toutes les modalités d'associations entre le CEA et le CNRS, que ce soit dans la gestion de structures communes ou dans la prise en compte des questions de propriété intellectuelle.

Molière, ou l'aéronautique du futur

Le 5 juillet a été lancé officiellement le laboratoire commun de recherche CNRS/Dassault Aviation/Université de Strasbourg/Université de Lorraine « Matériaux fonctionnels innovants pour l'aéronautique » (Molière). Son objectif : concevoir dans les domaines de l'acoustique, de l'électromagnétisme et de l'antigivre, de nouveaux matériaux pour les avions de demain.

Dématérialisation des bulletins de paie

Le 1^{er} juillet, le CNRS a mis en place la dématérialisation des bulletins de paie pour l'ensemble de ses personnels. Les agents peuvent désormais retrouver leurs bulletins de paie sous format dématérialisé sur l'espace « Ma rémunération » de leur compte ENSAP. L'ENSAP (Espace numérique sécurisé de l'agent public) est un espace personnel et sécurisé offrant des services individualisés, géré par le Service des retraites de l'État et la Direction générale des Finances publiques. Toutes les informations sont à retrouver sur l'intranet du CNRS.

CNRS Images aide les scientifiques à la production de films

CNRS Images met en place une commission annuelle d'aide à la production d'œuvres audiovisuelles documentaires, destinée à des scientifiques appartenant au CNRS et membres d'une unité mixte dont le projet est soutenu par leur directeur d'unité. Date limite de dépôts des projets le 1^{er} octobre 2021.



Un siècle après son invention, quel avenir pour le BCG ?

VIVANT 

BIOLOGIE La tuberculose tue 1,5 million de personnes dans le monde chaque année. Cent ans après son invention, le BCG reste aujourd'hui le seul vaccin contre cette infection encore mal comprise. Très efficace chez les enfants, il montre cependant ses limites chez les adultes.

PAR LAURE CAILLOCE

C'est une vraie révolution sanitaire, qui a rendu ses deux initiateurs (presque) aussi célèbres que Pasteur lui-même. En juillet 1921, la première administration du vaccin contre la tuberculose était réalisée sur un nouveau-né de l'hôpital de la Charité, à Paris. Le BCG, pour « Bacille bilié de Calmette et Guérin », respectivement médecin et vétérinaire à l'Institut Pasteur de Lille, était né. Depuis, 4 milliards de doses ont été injectées dans le monde, évitant la mort de millions de jeunes enfants.

« La tuberculose était l'une des principales causes de mortalité infantile, raconte Olivier Neyrolles, microbiologiste à l'Institut de pharmacologie et biologie structurale¹. Contrairement aux adultes qui développent en majorité des formes pulmonaires, chez les enfants, la tuberculose prend une forme disséminée, sous la forme de méningites notamment, très létale. Le vaccin d'Albert Calmette et de Camille Guérin a permis de faire chuter de plus de 95 % cette mortalité. » Plus étonnant : les médecins de l'époque se sont rapidement

▲ **Albert Calmette**
administrant le BCG buccal
à un nouveau-né en 1931.

aperçus que si le vaccin était redoutablement efficace contre la tuberculose, il protégeait aussi les enfants d'autres maladies infectieuses.

L'efficacité du BCG chez l'humain est d'autant plus miraculeuse qu'il avait été initialement développé pour protéger les... animaux d'élevage. « C'est un vaccin développé contre la tuberculose bovine, dont la souche est un peu différente de la tuberculose humaine, rappelle Camille Locht², microbiologiste à l'Institut Pasteur de Lille. Il a tellement bien marché chez les bovins, et la pression était tellement énorme, qu'il a été testé chez les enfants de familles tuberculeuses avec le succès que l'on sait. »

La technique, 100 % pasteurienne, est celle du bacille vivant atténué : durant treize années, l'agent de la tuberculose bovine a été répliqué *in vitro* 230 fois, jusqu'à perdre toute virulence et ne plus présenter aucune dangerosité... « C'est généralement la façon dont évoluent les pathogènes lorsqu'ils ne sont soumis à aucune pression de sélection, explique Camille Locht. Depuis, on a séquencé le génome complet du bacille atténué et on a pu constater qu'il avait perdu des morceaux entiers d'ADN très importants pour la virulence. »

Utilisé depuis un siècle maintenant – c'est le plus ancien vaccin encore en usage à ce jour –, le BCG n'a pourtant pas réussi à éradiquer la tuberculose. Dix millions de personnes développent la maladie et près de 1,5 million décèdent chaque année (dont 400 000 sont coinfectées par le VIH), ce qui en fait l'infection la plus mortelle dans le monde, hors Covid-19. Très efficace chez l'enfant, le vaccin de Calmette et Guérin s'avère en effet beaucoup moins protecteur contre la forme pulmonaire de la tuberculose chez l'adulte, moins létale, mais beaucoup plus contagieuse puisqu'elle se propage par aérosols.

La tuberculose, un ennemi redoutable

« La tuberculose est une maladie de la pauvreté, qui sévit surtout en Afrique et en Asie, d'où le relatif désintérêt dans lequel elle est tombée dans les pays développés. Mais dès que la précarité resurgit quelque part, la tuberculose refait son apparition », souligne Olivier Neyrolles, qui pointe la promiscuité, une mauvaise alimentation et un accès insuffisant aux soins comme principaux facteurs d'émergence. En France, où 5 000 à 6 000 cas de tuberculose se déclarent chaque année, ce sont ainsi les banlieues de la région parisienne qui sont les plus touchées.

La tuberculose est un ennemi redoutable – dix bactéries suffisent à infecter un individu –, qui avance le plus souvent masqué : un quart de la population mondiale serait porteuse du pathogène sans présenter aucun symptôme. « Dans 90 % des cas, le système immunitaire contrôle

l'infection et provoque un petit nodule dans le poumon sans que la personne s'en aperçoive, poursuit Olivier Neyrolles. Dans 5 % des cas, les individus développent la maladie immédiatement, et les 5 % restants déclarent une tuberculose des années après leur contamination, généralement à un moment où leur système immunitaire est moins performant, pour diverses raisons (fatigue, vieillesse, dénutrition...). » Le cas d'un homme tombé malade trente ans après avoir été contaminé par son père tuberculeux est célèbre dans la communauté médicale.

Longs – six mois minimum –, toxiques, les traitements peinent à venir à bout de bactéries devenues multirésistantes aux antibiotiques. « Seul un vaccin vraiment efficace chez l'adulte permettra de surmonter l'épidémie », insiste Olivier Neyrolles. La communauté scientifique s'y attèle depuis une quinzaine d'années, et plusieurs stratégies vaccinales sont aujourd'hui à l'œuvre.

Vers un nouveau vaccin antituberculeux

« Certains collègues refont du Calmette et Guérin, mais avec les outils actuels, détaille Camille Locht. Ils fabriquent un bacille vivant atténué à partir d'une souche humaine de tuberculose qu'ils ont génétiquement modifiée, en supprimant des gènes bien spécifiques qu'ils pensent impliqués dans la virulence. » Autre stratégie : élaborer un cocktail de plusieurs antigènes (les antigènes sont les protéines du pathogène qui déclenchent la réponse immunitaire), et les combiner à un adjuvant. L'utilisation de vecteurs viraux tels que l'adénovirus de chimpanzé (utilisé dans le vaccin d'Oxford/Astra Zeneca contre le Covid-19) est également à l'essai ; la technique de l'ARN messager ne serait, elle, pas adaptée au bacille de la tuberculose.

▲ **Banda Aceh, Indonésie.** La vaccination des bébés avec le BCG a permis de faire chuter drastiquement la mortalité infantile dans le monde



1. Unité CNRS/Univ.Toulouse Paul Sabatier. 2. Unité CNRS/Institut Pasteur Lille/Inserm/CHU de Lille/ Univ. de Lille /Univ. de Guyane.

Parmi les seize candidats-vaccins en cours de développement, deux sont aujourd'hui en phase 3 d'essais cliniques et doivent désormais prouver qu'ils offrent une meilleure protection que le BCG, dont l'efficacité chez l'adulte est estimée à 50 % en moyenne. « On a tous le Covid-19 en tête, pour lequel quelques mois seulement ont été nécessaires pour élaborer des vaccins efficaces à plus de 90 %, commente Camille Locht. On a trouvé la protéine Spike, la fameuse protéine située à la surface du SARS-CoV-2, et celle-ci suffit à déclencher une puissante réponse anticorps. Malheureusement, avec la tuberculose, on est à un autre niveau de complexité ! »

Tout d'abord, parce que le pathogène ne compte pas une demi-douzaine de protéines, comme le SARS-CoV-2, mais près de 4 000, situées en surface mais aussi à l'intérieur de la bactérie. Savoir lesquelles cibler pour provoquer une réponse immunitaire adéquate reste un défi pour les chercheurs. « À ce jour, la communauté scientifique en a identifié une douzaine impliquées dans le déclenchement de la réponse immunitaire, témoigne Camille Locht. On regarde maintenant comment les combiner et comment les présenter pour activer le système immunitaire. »

Casse-tête immunitaire

Ensuite, parce que l'on peine toujours à comprendre la nature exacte de la réponse immunitaire, en particulier la réponse immunitaire protectrice, face au bacille tuberculeux. Seule certitude des chercheurs : contrairement à ce qu'il se passe dans le cas du Covid-19, par exemple, où la production d'anticorps (par les lymphocytes B en circulation dans le sang) suffit à contrôler l'intrusion, l'immunité activée face à la tuberculose est une immunité essentiellement cellulaire, qui mobilise les lymphocytes T dont certains résident au cœur des tissus. « Or la réponse T est très complexe, explique Camille Locht. Il existe plusieurs types de lymphocytes T, aux modes opératoires très variés. On sait par



▼ Une quinzaine d'études sont en cours pour tester l'efficacité du BCG contre le SARS-CoV-2, comme ici à Cape Town, en Afrique du Sud.

exemple que certains lymphocytes T sont régulateurs, et peuvent soit diminuer l'infection, soit au contraire l'augmenter. Il s'agit de ne pas se tromper de cible. »

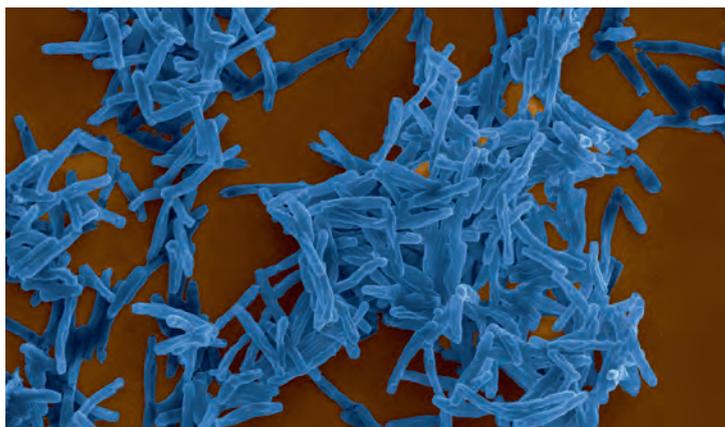
L'hétérogénéité de la réponse immunitaire chez un même individu est un autre casse-tête pour les chercheurs. « Dans un même poumon, on a découvert que certaines zones pouvaient être gravement infectées, quand d'autres étaient totalement épargnées, indique Olivier Neyrolles. Cela veut dire que les mécanismes immunitaires activés ne sont pas les mêmes partout, et cela nous complique évidemment la tâche ! »

La deuxième vie thérapeutique du BCG

Si des progrès indéniables sont faits, la mise au point d'un vaccin performant risque de prendre encore des années... et ne signera pas forcément la disparition du BCG. Depuis plusieurs années, en effet, les chercheurs trouvent de surprenantes applications thérapeutiques au vaccin de Calmette et Guérin. « Le BCG est aujourd'hui le meilleur médicament pour traiter le cancer de la vessie superficielle, explique ainsi Camille Locht, il est dans ce cas injecté directement dans la tumeur. Il a aussi des résultats intéressants dans certains mélanomes, et dans le traitement du diabète de type 1. » La question se pose également de l'utilisation du BCG contre l'infection due au SARS-CoV-2, et une quinzaine d'études sont en cours pour tester son efficacité.

L'action thérapeutique du BCG reste encore mystérieuse... même si les chercheurs ont une petite idée derrière la tête. « Il semble que le BCG renforce l'immunité innée, avance Camille Locht, c'est-à-dire l'immunité non spécifique, rapide, qui constitue notre première ligne de défense. C'est un domaine de recherche très nouveau et très excitant ! » II

► Bactéries *Mycobacterium tuberculosis*, agents de la tuberculose, vus en microscopie électronique à balayage colorisée.



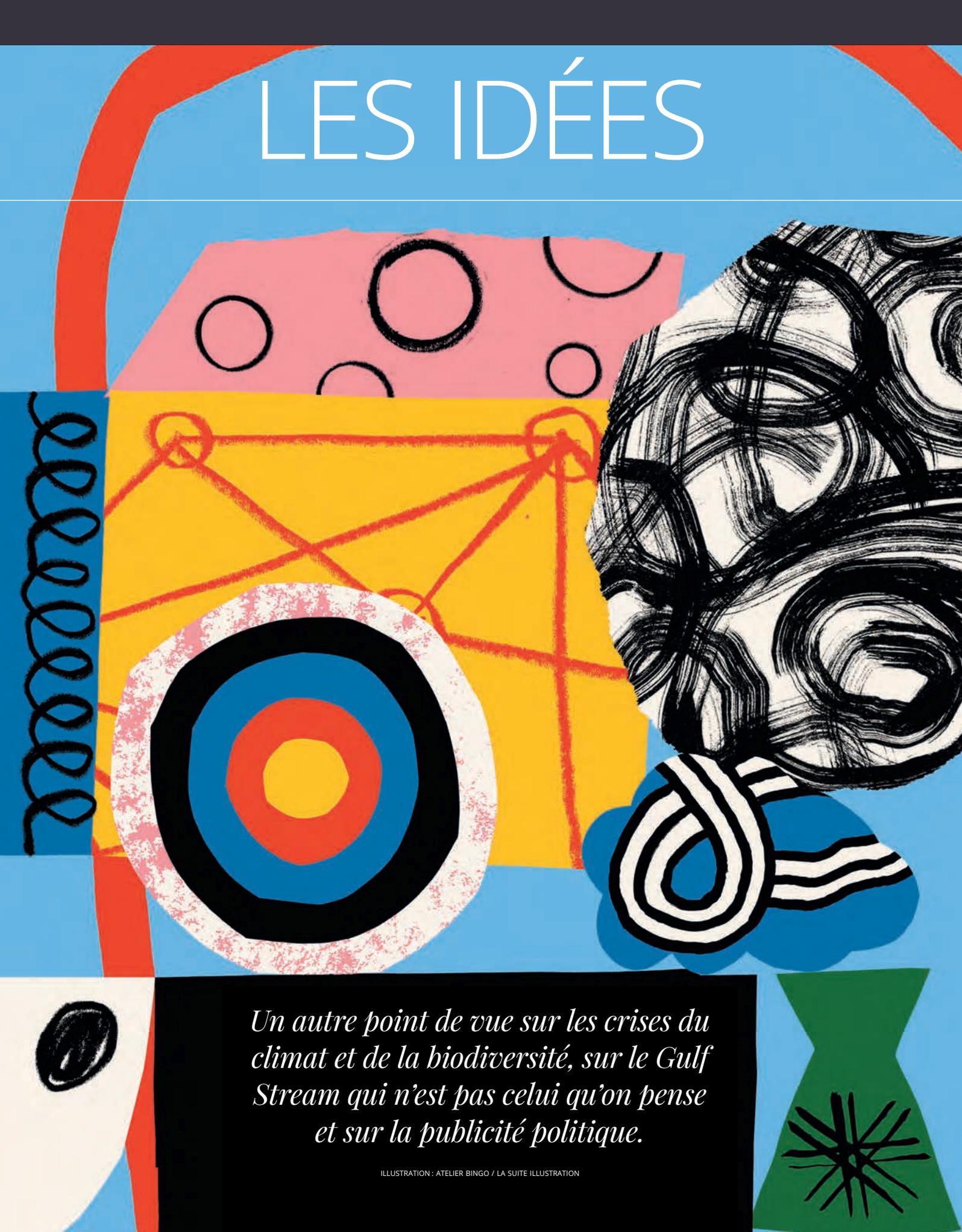
© INSTITUT PASTEUR/S. GUADAGNINI, PLATE-FORME DE MICROSCOPIE ULTRASTRUCTURALE - M. JACKSON, UNITÉ DE GÉNÉTIQUE MYCOBACTÉRIENNE - COLORISATION J.-M. PANAUD

>> RENDEZ-VOUS

- 6^e Forum mondial des vaccins contre la tuberculose, Toulouse, 22-24 février 2022.

- Symposium sur le BCG et ses usages thérapeutiques, Institut Pasteur de Lille, 17-19 novembre 2021.

LES IDÉES



Un autre point de vue sur les crises du climat et de la biodiversité, sur le Gulf Stream qui n'est pas celui qu'on pense et sur la publicité politique.

Ne l'appellez plus jamais Gulf Stream



TERRE

Océanologie À l'école, le Gulf Stream était ce courant qui traversait l'Atlantique Nord et venait réchauffer les côtes européennes. Faux, nous dit l'océanologue Julie Deshayes, qui évoque les nombreux tourbillons convergeant vers l'Europe. La question demeure : ces courants s'affaiblissent-ils, et avec quelles conséquences pour le climat ?

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

Vous dites que l'on ne doit pas parler de Gulf Stream pour désigner le courant chaud qui vient baigner les côtes européennes. Pourquoi cette appellation est-elle abusive ?

Julie Deshayes¹. Le Gulf Stream est un courant océanique chaud bien connu depuis le XVI^e siècle, car les navigateurs l'empruntaient pour revenir des Amériques. Jusqu'à l'apparition des premiers satellites, il était décrit comme un flux unique et continu qui circule de la Floride, où il prend naissance, jusqu'en Europe et aux latitudes polaires.

Aujourd'hui, on sait que la réalité est tout autre : si le Gulf Stream est en effet un courant continu et très intense qui longe la côte américaine du sud vers le nord sous l'effet de la rotation terrestre (il fait partie d'un ensemble plus large appelé gyre atlantique), on sait qu'après s'être détaché de la côte au niveau du Cap Hatteras, en Caroline du Nord, il change totalement d'aspect et se désintègre en une multitude de tourbillons bien visibles par les satellites. Une partie de ces masses d'eau – environ 20 %, soit à peu près vingt

fois le débit de l'Amazonie – traverse le bassin atlantique d'ouest en est et poursuit sa route vers le nord, tandis que le reste retourne vers le sud. On retrouve ensuite un courant sud-nord bien identifié au large de Terre-Neuve, qui se casse à nouveau en petits tourbillons en partant vers le large. Ce n'est donc pas le Gulf Stream qui vient lécher les côtes européennes, mais bien un ensemble de courants et tourbillons que l'on a agrégé mathématiquement et baptisé circulation méridienne de retournement atlantique ou Amoc (pour Atlantic Meridional Overturning Circulation, en anglais).

D'où vient ce terme de « circulation de retournement atlantique » (Amoc) ?

J. D. Lorsqu'elles arrivent au niveau de la pointe sud du Groenland et de la Norvège, ces eaux chaudes se refroidissent. Devenues beaucoup plus denses, elles sont entraînées vers le fond et retraversent le bassin atlantique, vers la Floride. C'est ce phénomène que décrit la circulation de retournement.

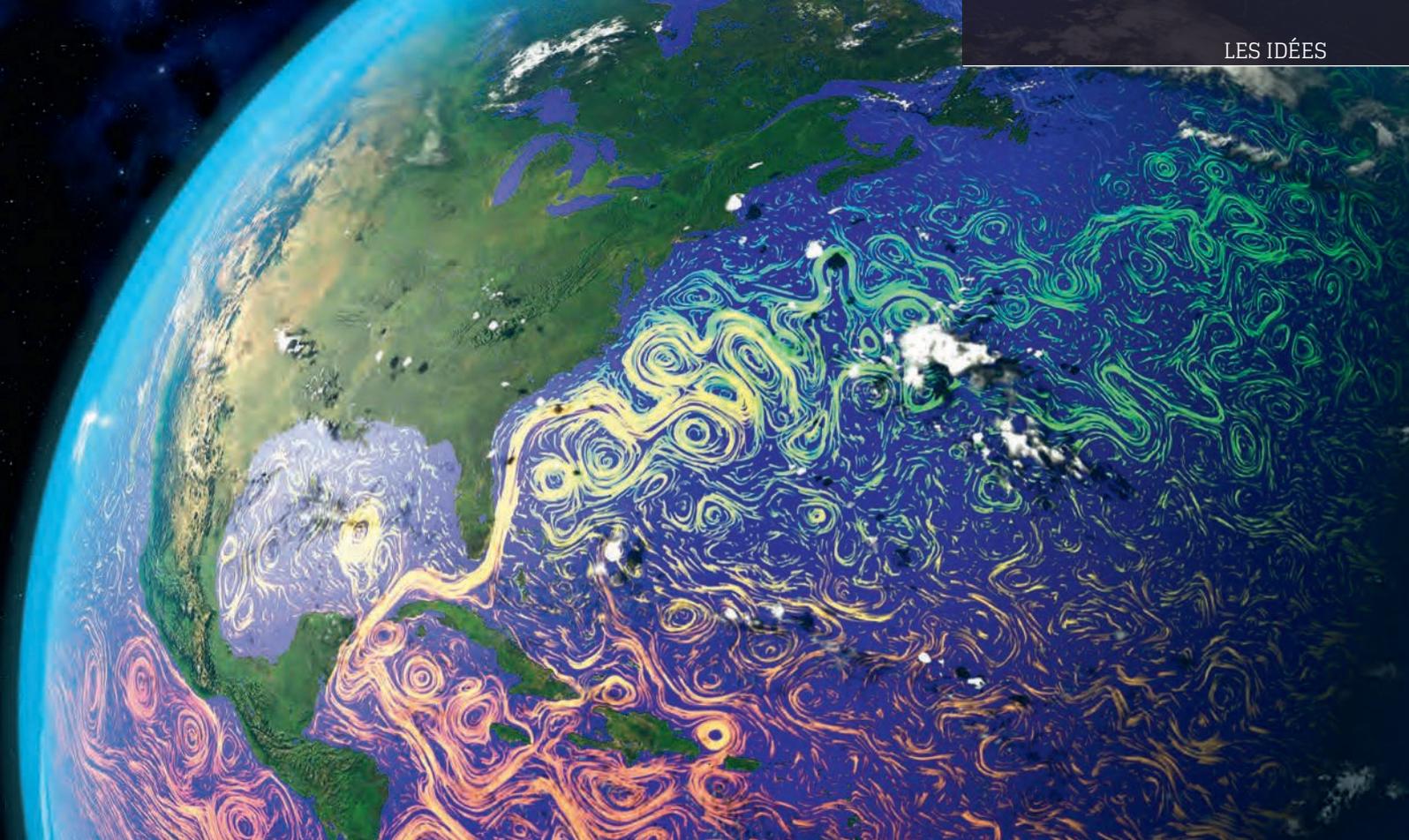
Quel rôle l'Amoc joue-t-elle dans le climat mondial ?

J. D. Cette boucle de circulation est cruciale dans le système climatique mondial, car elle permet de transporter vers les pôles l'excédent de chaleur reçu à l'Équateur. Moins éclairées par le soleil, les régions arctiques reçoivent en effet moins de chaleur que les régions équatoriales, alors que toutes les régions de la planète, toutes latitudes confondues, renvoient vers l'espace peu ou prou la même quantité d'énergie (c'est l'effet *albedo*, Ndlr). Conséquence, l'Arctique qui reçoit moins d'énergie qu'elle n'en radie présente un bilan négatif, tandis que l'Équateur a un bilan excédentaire. La circulation de retournement atlantique permet de mieux répartir cette chaleur à l'échelle du globe. Les scientifiques pensent aujourd'hui qu'elle a eu un rôle crucial dans le passage de la dernière ère glaciaire, qui a vu une partie de l'Europe se couvrir de glace, à l'ère interglaciaire que nous connaissons depuis 10 000 ans.

Avec le changement climatique, l'Amoc est-elle en train de ralentir, comme on a pu l'entendre encore récemment dans les médias ?

J. D. Si l'on mesure l'intensité du Gulf Stream depuis quarante ans déjà, on ne mesure directement l'Amoc que depuis 2004. Les données antérieures sont des estimations obtenues grâce des mesures indirectes et souvent hétérogènes, par exemple en étudiant les carottes de sédiments prélevées au fond de l'océan. Aujourd'hui, une trentaine de capteurs situés le long d'une ligne reliant la Floride au sud du Maroc, à la lati-

¹ Julie Deshayes est chercheuse au Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentations et approches numériques (Locean – CNRS/MNHN/IRD/Sorbonne Université).



© SCIENCE PHOTO LIBRARY/SCHNEIDER, KARSTEN

tude de 26° Nord, permet de combler ce manque. Comme l'Amoc n'est pas un flux unique, il faut cependant se livrer à une opération mathématique pour obtenir ces chiffres : on soustrait du flux mesuré du Gulf Stream à un instant t l'ensemble des courants qui reviennent vers le sud en traversant le 26° parallèle.

Aujourd'hui, nous disposons d'un jeu de données sur quinze ans à peine. C'est insuffisant pour donner des tendances de long terme, d'autant qu'on constate une grande fluctuation de la circulation de retournement atlantique d'un mois sur l'autre. Les moyennes sur une année montrent, elles, deux périodes : de 2004 à 2015, l'intensité de l'Amoc a diminué, et depuis cinq ans, elle augmente à nouveau. Difficile d'en tirer des conclusions à ce stade...

Et que disent les mesures indirectes, antérieures à 2004 donc, sur ce possible ralentissement ?

J. D. L'article publié récemment dans *Nature Geoscience*, qui balaie le dernier millénaire, évoque un ralentissement depuis la fin du XIX^e siècle – qui correspondrait donc à l'essor de nos

▼ Après s'être détaché de la côte américaine, le Gulf Stream se désintègre en une multitude de tourbillons bien visibles par les satellites.

sociétés industrielles et à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère. S'il convient de prendre ces résultats provenant de travaux hétérogènes avec beaucoup de prudence, le ralentissement de l'Amoc dans les cent ans qui viennent est néanmoins possible, et a peut-être déjà commencé. Il est d'ailleurs envisagé par un certain nombre des modèles climatiques actuels ; quelques scénarios évoquent même l'arrêt total de la circulation de retournement atlantique. Mais, encore une fois, il faut que les scientifiques continuent d'accumuler des données pour affiner ces projections.

Dans le cas où la circulation de retournement atlantique venait à ralentir, voire à s'arrêter, quelles conséquences cela aurait-il sur le climat en Europe ?

J. D. Il faut d'abord préciser que l'Amoc n'est pas directement responsable de nos hivers relativement doux, comparés aux hivers du Canada situé aux mêmes latitudes. L'Amoc, et plus en amont encore, le Gulf Stream, se contentent de réchauffer l'océan Atlantique Nord ; ce sont les vents dominants d'ouest

qui passent au-dessus de ce dernier et se réchauffent à son contact qui nous apportent un air moins froid qu'il le devrait. Quant aux conséquences d'une baisse d'intensité de l'Amoc sur le climat européen, c'est difficile à dire, car il y a énormément de variables en jeu.

Une chose est sûre : il ne provoquera pas un refroidissement de l'Europe, le réchauffement global produit par les activités humaines étant bien trop important pour que le simple ralentissement d'un courant marin vienne le contrecarrer sous nos latitudes. Un ralentissement de l'Amoc pourrait en revanche provoquer plus d'épisodes rigoureux en hiver, associés à des sécheresses très intenses et des canicules l'été. Il faut enfin retenir que s'il est envisagé par certains modèles actuels que l'Amoc s'arrête, cela ne sera jamais le cas du Gulf Stream. Ce courant qui longe les côtes de l'Amérique est, je le répète, exclusivement lié à la rotation terrestre. ||



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



© BIMAL VISWANATH

Les enjeux de la publicité politique ciblée

Par **Oana Goga**, chargée de recherche au CNRS, au Laboratoire d'informatique de Grenoble ¹.

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



INFORMATIQUE Malgré les bonnes intentions affichées, le ciblage publicitaire à des fins politiques sur Facebook continue de prospérer. La chercheuse Oana Goga, qui a développé avec son équipe l'outil de monitoring AdAnalyst, milite pour plus de transparence.

Avec plus de 2,5 milliards d'utilisateurs, Facebook reste la plateforme de publicité en ligne la plus populaire. Elle tire sa puissance de l'opportunité offerte à n'importe quel publicitaire de communiquer son message de manière ciblée à une large part des citoyens connectés à Internet. Afin de mieux cerner comment Facebook s'y prend pour nous « profiler », nous avons développé l'outil de monitoring AdAnalyst. Celui-ci nous a donné accès, via une extension installée dans leur navigateur, aux publicités reçues par les utilisateurs du réseau social.

Quelle protection des utilisateurs ?

Nos mesures ont montré que les publicitaires peuvent sélectionner parmi plus de 250 000 attributs, dont beaucoup sont très spécifiques et parfois sensibles tels que « l'intérêt dans les mouvements anti-avortement » ou « la conscience du cancer ». De plus, en analysant les sources des données utilisées pour le ciblage, on s'est aperçu que Facebook apparaissait la plupart de ses utilisateurs étasuniens (90 %) avec des données collectées hors ligne grâce à des partenariats avec des courtiers en données. Ces données contiennent, entre autres, des informations sur les crédits, les propriétés

locatives des utilisateurs ou encore leurs achats dans les grandes surfaces. Facebook a depuis rompu le contrat avec ces partenaires.

Nous avons ainsi montré que les mécanismes de transparence mis en avant par le géant du Web avec la fonctionnalité « Pourquoi je vois cette publicité ? » sont souvent loin d'être complets, les attributs les plus sensibles n'apparaissant pas dans ses explications. Nous nous sommes donc intéressés aux publicités politiques, qui sur Facebook ont accès aux mêmes options de ciblage que les publicités commerciales. Or c'est ce ciblage qui rend la publicité politique sur Internet si dangereuse, comparativement aux canaux classiques.

On se souvient tous de l'affaire Cambridge Analytica, cette entreprise de conseil en politique qui a exploité les capacités de ciblage de Facebook pour peser sur les élections présidentielles américaines et le référendum sur le Brexit en 2016. Face aux critiques, la société a mis en place plusieurs mécanismes de protection et

de transparence, en particulier la Political Ad Library (bibliothèque publicitaire) : un dépôt central publiquement accessible censé répertorier les publicités politiques diffusées sur la plateforme. À l'heure actuelle, tout publicitaire envoyant une publicité politique est ainsi tenu de la déclarer comme telle.

Expérimentation avec AdAnalyst

Nous voulions vérifier si la Political Ad Library était exhaustive, si toutes les publicités politiques étaient bien déclarées comme telles, et si Facebook avait mis en place des mécanismes de contrôle efficaces pour s'en assurer. Nous avons ainsi réalisé une expérimentation grandeur nature à l'aide de l'outil AdAnalyst lors des élections présidentielles de 2018 au Brésil. Deux mille utilisateurs ont accepté d'installer l'extension, ce qui nous a permis de collecter 240 000 publicités (politiques ou non) reçues pendant la période électorale.

Il est apparu que 2 % des publicités commerciales étaient en fait politiques bien que non déclarées comme telles. Un taux très important si on le compare aux 2 à 4 % de publicités déclarées comme politiques et présentes dans la Political Ad Library, malheureusement seule ressource que les journalistes, les organisations indépendantes, ou même le grand public peuvent consulter pour faire un monitoring du discours politique.

Autre problème : la législation brésilienne prévoit que seuls les politiciens peuvent envoyer de la publicité



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

1. Unité CNRS/Univ. Grenoble Alpes.



© JOHN THUS/AFP

politique en période électorale, or nos données montrent que 20 % des publicités non déclarées étaient en fait envoyées par des publicitaires. Ce résultat pointe la difficulté des États à faire respecter leurs législations s'ils n'ont pas accès à ces plateformes de publicité.

Audit et contrôle citoyen

Ces recherches soulignent la nécessité pour la société civile d'avoir accès aux données sur les publicités ciblées mises en ligne, ainsi que l'importance des instruments d'audit extérieur. Sur cette base, nous avons demandé que toutes les plateformes publicitaires rendent publiques des Ad Libraries contenant la totalité des publicités et non seulement les publicités politiques ; mais aussi parce que d'autres types de publicités peuvent être sensibles et d'importance publique (Covid-19 ou vaccins par exemple). Nous demandons aussi que soient rendus publics les critères de ciblage utilisés par les annonceurs, ainsi que toutes les informations sur

► [Manifestation devant le siège de l'Union européenne à Bruxelles \(Belgique\) dénonçant le rôle de Facebook dans la propagation de fausses nouvelles \(22 mai 2018\).](#)

l'impact réel de ces publicités : combien d'utilisateurs ont cliqué, nombre de commentaires, de likes, etc. Ces données sont essentielles pour détecter la publicité malveillante.

En absence de lois précises sur la transparence, la seule façon de mettre les plateformes face à leurs responsabilités et se protéger de la publicité politique malveillante est d'aider la recherche en installant des outils comme AdAnalyst. Avec une trentaine d'acteurs de la société civile, nous avons ainsi détaillé ces recommandations dans une proposition soumise à la Commission européenne : "Universal ad transparency by default". Ceci permettra de détecter les failles et disposer des données concrètes. ||



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

À LIRE

Droit

Les talibans ont-ils gagné la guerre grâce au droit ? En installant dès 2001 dans les zones qu'ils contrôlaient des centaines de tribunaux de proximité considérés par les Afghans comme plus impartiaux, moins corrompus et plus efficaces dans l'application des verdicts que ceux mis en place par la coalition internationale, l'insurrection talibane a gagné la confiance d'une partie de la population. En enquêtant sur le système judiciaire mis en place par les talibans, le sociologue Adam Backzo tente de comprendre comment les « étudiants en religion » sont parvenus, non seulement à s'imposer militairement, mais aussi à se mettre en position de réguler les rapports sociaux.

La Guerre par le droit. Les tribunaux Taliban en Afghanistan, Adam Backzo, CNRS Éditions, septembre 2021, 384 p., 25 €.



Physique

Malgré l'arrivée de l'automne, la lecture de ce livre reste de saison. Le physicien Yann Mambrini nous invite à la découverte de l'héritage du génial Newton, connu pour avoir fondé la mécanique classique ainsi que pour sa théorie de la gravitation. De quoi mieux comprendre la chute d'une pomme depuis son arbre, mais aussi la vraie nature de la lumière ou la trajectoire d'une balle de tennis et des planètes. Rafraichissant !

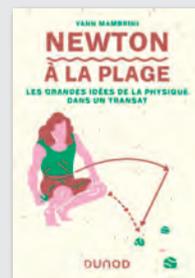
Newton à la plage, Yann Mambrini, Dunod, juin 2021, 208 p., 15,90 €.



Biodiversité

Jusqu'à présent, quand on abordait le problème de la protection de la biodiversité marine, on a toujours eu tendance à ne s'intéresser qu'à ce qui était préjudiciable à nous-mêmes, humains. Le biologiste marin Alexandre Meinesz, qui fut l'un des premiers à alerter de l'invasion de l'algue *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée dès les années 1990, propose une nouvelle approche des atteintes de la vie marine et de nouveaux critères, moins anthropocentrés, pour hiérarchiser chaque type de pollution. Son analyse identifie ainsi les atteintes les plus nocives – surpêche et artificialisation des littoraux –, et prône une meilleure défense des espèces et des espaces sous-marins.

Protéger la biodiversité marine, Alexandre Meinesz, Odile Jacob, août 2021, 332 p., 24,90 €.



À LIRE

Numérique

Plus de 150 ans après qu'Ada Lovelace a réalisé le tout premier programme informatique, beaucoup continuent de croire que le domaine du numérique est un apanage masculin. Afin de déconstruire ce stéréotype persistant, Léa Castor, Célia Esnault et Laure Thiébault ont choisi la bande dessinée pour réaliser le portrait de 12 chercheuses, enseignantes, ou ingénieures travaillant dans les sciences du numérique. Quels sont les méthodes, les outils et les objectifs de recherche des sciences du numérique ? Quels sont les chemins qui y mènent et, surtout, quels ont été les parcours – souvent semés d'embûches – qui ont permis à ces femmes de faire bouger les lignes ?

Les Décodeuses du numérique, Léa Castor, Célia Esnault et Laure Thiébault, CNRS Éditions, septembre 2021, 64 p., 6€.



Musique

Le punk français n'a pas été qu'une histoire de crêtes, de vestes à clous, de colle à rustine et de pogo sur musique saturée. Même si, depuis son « âge d'or » des années 1980, il a été supplanté sur la scène médiatique par d'autres musiques contestataires, il n'en demeure pas moins prégnant dans certains espaces sociaux et géographiques. Une enquête qui mobilise tous les outils de la sociologie pour comprendre les multiples facettes du punk et de ceux qui continuent de s'en réclamer.

À corps et à cris. Sociologie des punks français, Pierig Humeau, CNRS Éditions, juin 2021, 370 p., 25€.



Chimie

Et si la flèche de Cupidon n'était qu'une combinaison d'interactions moléculaires orchestrée par nos gènes, notre histoire et notre environnement ? Et plus généralement, si la chimie tenait la clef, non seulement du mystère de l'amour, mais aussi de l'amitié et de toutes les formes d'attachement, qu'il soit filial, tribal ou social ? Grâce à ce récit, accessible même au néophyte, le chimiste Marcel Hibert nous fait découvrir le rôle majeur d'une hormone, l'ocytocine, capable de moduler nos sentiments, et qui, à ce titre, suscite de grands espoirs pour le traitement de plusieurs troubles, notamment l'autisme.

Ocytocine, mon amour, Marcel Hibert, Humen Sciences, septembre 2021, 288 p., 19€.



Biodiversité et climat: même combat

VIVANT ● TERRE ●

ÉCOLOGIE Le changement climatique et l'érosion de la biodiversité sont deux crises intimement liées. C'est ce que conclut un récent rapport, rédigé par des experts du climat (Giec) et de la biodiversité (IPBES), qui insiste sur la nécessité de réponses conjointes à ce double défi.

PAR SEBASTIÁN ESCALÓN

Si des scientifiques d'une ère géologique future se penchent un jour sur notre époque – celle que l'on appelle désormais l'Anthropocène – ils la caractériseront sans doute par deux phénomènes brutaux et simultanés : un changement climatique et une extinction massive d'espèces associée à la destruction de nombreux écosystèmes.

Ces deux crises globales sont intimement liées. C'est là le message principal d'un rapport rédigé par 50 scientifiques (en anglais) réunis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) et par la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES). « *Les causes de ces deux phénomènes sont les mêmes et sont liées à nos modes de production et de consommation. Il faut donc répondre en même temps aux deux menaces*, explique Sandra Lavorel, directrice de recherche CNRS au Laboratoire d'écologie alpine ¹, à Grenoble et membre de l'IPBES.

Le problème, c'est que dans les agendas politiques internationaux, c'est souvent le climat qui passe en premier. »

« Solutions simplistes » et conséquences

Or, délaissier l'une au profit de l'autre, c'est oublier à quel point le climat influe sur la biodiversité, et vice versa. Ainsi, par exemple, dans le cas des récifs coralliens, c'est le changement climatique et l'augmentation de la température de la mer qui mettent en danger la biodiversité de l'un des écosystèmes les plus complexes. À l'inverse, la dégradation des tourbières, des zones humides ou des forêts tropicales menace de libérer dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz à effet de serre, et donc, d'aggraver le changement climatique.

« *Lorsque les systèmes naturels ne fonctionnent plus, ce sont les villes et les communautés qui en dépendent qui sont en péril*, explique Camille Parmesan, directrice de recherche à la Station d'écologie théorique et expérimentale du CNRS. *Ce sont les*

1. Unité CNRS/Univ. Savoie Mont-Blanc/Univ. Grenoble Alpes.



© ANDREAS EDELMANN / STOCKADOBÉ.COM

écosystèmes qui purifient et stockent l'eau, et qui contrôlent le cycle du carbone. »

L'un des points saillants du rapport commun Giec-IPBES est de rappeler que certaines solutions pour atténuer le changement climatique peuvent nuire à la biodiversité et au bien-être des populations. Ainsi, les grands barrages hydroélectriques ou la production de biocarburants peuvent mettre sous pression des écosystèmes déjà menacés, et les monocultures d'arbres risquent aussi de produire des effets contraires à ceux escomptés. « Il n'y a pas de recette magique, ni pour le climat ni pour la biodiversité. Les solutions simplistes peuvent provoquer des dégâts contre la biodiversité et ensuite se retourner contre le climat », rappelle Sandra Lavorel.

Conserver et restaurer les écosystèmes

Alors, que faire ? Pour les auteurs du rapport, il faut tout d'abord réduire les émissions de gaz à effet de serre. Parmi les mesures à prendre, il faut modifier en profondeur les systèmes de production alimentaire, dont la contribution au changement climatique est comprise entre 21 et 37 %.

▼ Ours polaire au Manitoba, une province de l'ouest du Canada.

Mais « réduire les émissions ne suffit plus », assure Camille Parmesan. Il faut aussi maintenir le CO₂ dans le sol et la biosphère, et absorber une partie des gaz à effet de serre déjà présents dans l'atmosphère. Ainsi, les experts prônent la mise en œuvre de solutions basées sur la nature. Exemples : privilégier les pratiques d'agriculture et de foresterie durables ou encore, construire des infrastructures vertes (parcs, toits végétalisés) dans les villes.

Avant tout, il faut protéger et restaurer les écosystèmes naturels. D'après le rapport, pour freiner l'extinction d'espèces et atténuer le changement climatique, entre 30 et 50 % des terres et des océans devraient être protégés (contre 15 % des terres et 7,5 % des océans aujourd'hui). De même, il faudrait restaurer 20 % des habitats natifs, y compris dans les zones habitées ou altérées par les humains. Pour Camille Parmesan, les tourbières, les forêts méditerranéennes, les zones humides, les prairies et les forêts tropicales sont parmi les écosystèmes à conserver et restaurer en priorité car « ils constituent des puits de carbone précieux et présentent une riche biodiversité ».

En Nouvelle-Zélande par exemple, la commission gouvernementale sur le changement climatique a recommandé de restaurer 300 000 hectares de forêts natives, alors qu'auparavant le pays privilégiait les grandes plantations de conifères.

De plus, ces forêts natives sont une source de vie pour les populations maories.

S'appuyer sur les communautés locales

Ce dernier point est fondamental. Comme le souligne le rapport, pour être efficaces, ces approches doivent se faire avec la participation des populations locales. « Ce sont trois facettes qu'il faut mettre en harmonie : répondre au problème climatique, restaurer et protéger la biodiversité et produire des bénéfices pour les populations. Autrement, cela ne tient pas », explique Sandra Lavorel, qui a étudié la relation entre la biodiversité des prairies alpines et l'élevage peu intensif. Ces prairies diversifiées, riches en espèces herbacées, résistent bien au changement climatique et offrent aux éleveurs de la ressource, même lors des années sèches. « La restauration des espaces naturels doit se faire avec les communautés, les paysans, les chasseurs, ceux qui connaissent le terrain », ajoute Camille Parmesan.

Les solutions pour combattre le changement climatique et l'érosion de la biodiversité existent. Reste à savoir si la volonté politique et l'engagement des populations seront suffisants pour redresser la barre. ▮

Pour en savoir +

Pour consulter le rapport (en anglais) : <https://bit.ly/38fB557>



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



de Denis Guthleben,
historien au CNRS

Un (ARN) messenger du passé

« Tu penses quoi des ARNm ? » Il y a peu, cette question aurait fait basculer la plupart d'entre nous dans un abîme de perplexité. Désormais, près de deux ans après le déclenchement de la crise sanitaire que nous traversons et au cœur d'une campagne de vaccination sans précédent, elle appartient à notre quotidien : nous sommes tous devenus des experts en biologie moléculaire. Pour le meilleur, sans doute – car il ne faut jamais se plaindre de la diffusion de la culture scientifique. Mais pour le pire, un peu aussi – comme la monnaie en économie, la mauvaise culture chasse souvent la bonne... C'est que dans ce domaine comme ailleurs, il y a expert et expert. Aucune inquiétude toutefois avec ceux qui s'invitent dans cette chronique : ce sont des pointures mondialement reconnues.

Une « bande magnétique »

Notre histoire débute, comme souvent dans cette chronique, entre les murs d'un laboratoire. Ou, plus exactement, d'un « grenier », puisque c'est ainsi que l'ont souvent décrit les étudiants et les nombreux scientifiques français et étrangers qui l'ont fréquenté. Pas n'importe où quand même : rue du Docteur Roux à Paris, c'est le service de physiologie microbienne de l'Institut Pasteur.

“À la fin des années 1950, Jacob et Monod postulaient qu'une molécule servait d'intermédiaire entre les gènes de l'ADN et le lieu de fabrication des protéines.”

À la fin des années 1950, sous la direction d'André Lwoff, plusieurs chercheurs y planchent sur la régulation de l'expression des gènes, notamment François Gros et François Jacob, ainsi que Jacques Monod – avec qui Jacob et Lwoff recevront le prix Nobel de physiologie ou médecine « pour leurs découvertes concernant le contrôle génétique de la synthèse des enzymes et des virus » en 1965.

Disons, pour faire simple et bref, même si le sujet ne l'est pas, que Jacob et Monod postulaient qu'une molécule servait d'intermédiaire entre les gènes de l'ADN et le lieu de fabrication des protéines. Mais ce lien demeurait flou même pour les esprits les plus réputés et affûtés – comme ceux de Francis Crick et de James Watson, les découvreurs nobélisés de la fameuse structure en double hélice de l'ADN.

Moins réputés à ce moment-là encore, mais sacrément affûtés eux aussi, les pasteuriens proposent que l'« intermédiaire instable » entre l'ADN et les protéines, comme l'explique François Jacob dans son livre *La Statue intérieure* (Odile Jacob, 1987), soit « un ARN à renouvellement rapide » un « X » à l'existence duquel personne, bien entendu, ne croyait » mais faisant office de « bande magnétique ». De durée de vie très courte et de taille variable, ce X-là ne se laisse cependant pas aisément capturer.

Des ARNx aux ARNm

Séjournant dans le laboratoire de Matthew Meselson durant l'été 1960, au « CalTech » de Pasadena, François Jacob multiplie pendant plusieurs semaines les tentatives infructueuses avec son ami Sydney Brenner : ils ont le sentiment de s'être « échoués au soleil comme des baleines qui ont raté la passe », avant d'obtenir des résultats *in extremis*. Au même moment, François Gros se trouve à l'autre bout des États-Unis, dans le laboratoire de James Watson à Harvard. Et il n'est pas plus à la fête : il ne parvient qu'au prix de longs efforts à effectuer des marquages au radiophosphore et à caractériser, ainsi qu'il le déclare dans un témoignage confié en 2010 aux anciens et amis du CNRS, « une classe d'ARN à renouvellement très rapide » et différente des ARN de ribosomes ou des ARN de transfert qui avaient été décrits jusqu'alors.

De retour dans leur grenier à la rentrée 1960, les deux chercheurs confrontent leurs observations et poursuivent leurs travaux. Ces derniers aboutissent à la parution de deux articles, côte-à-côte, dans la livraison du 13 mai 1961 de la revue *Nature* : si François Jacob – avec Brenner et Meselson – comme François Gros – avec plusieurs coauteurs de la Harvard University dont Watson – évoquent encore un « intermédiaire » ou un « ARN instable transportant l'information des gènes aux ribosomes », la belle appellation de « messenger » a déjà commencé à se répandre au sein de la communauté des biologistes moléculaires. Mais nul ne pouvait imaginer alors qu'une découverte de biologie fondamentale constituerait 50 ans plus tard l'arme première de l'humanité pour lutter contre une pandémie planétaire. Une leçon à méditer... II

ANNÉE DE LA BIOLOGIE 2021-2022

Du laboratoire de recherche à la classe



#AnnéeBiologie
anneedelabiole.org.cnrs.fr

Des événements de culture scientifique partout en France

50 000

professeurs ciblés du premier degré au supérieur

Des actions dans

7 230 collèges et
4 150 lycées en France

30 académies

Une formation déployée dans plus de **20** villes



DU 1^{ER} AU 11
OCTOBRE 2021

Visites Insolites

Vivez une expérience surprenante et inoubliable avec les sciences !
#CNRSinsolite



fête de la Science





PLAN DE RELANCE

VOTRE LABORATOIRE A UN PROJET AVEC UNE ENTREPRISE ?



Le Plan France Relance permet le financement de chercheurs et ingénieurs affectés à des projets communs de recherche entre laboratoires publics et entreprises.

La mesure de « préservation de l'emploi de R&D des entreprises » prévoit jusqu'à 80% de la rémunération de ces personnels.



**Renseignements auprès du Service partenariat
& valorisation CNRS de votre région**