Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

CNRS LE JOURNAL

Trimestriel **n° 297** SEPTEMBRE 2019

NOTRE-DAME
Après l'incendie, la recherche se mobilise

Plongée dans les images d'archives du CNRS

Thomas Ebbesen, médaille d'or 2019 du CNRS

CLIMAT
Ces scientifiques qui ont choisi la France

COSMETIC360®
INNOVATIONS + SOLUTIONS > PARIS

LE SALON INTERNATIONAL
HAUT DE GAMME DE LA FILIÈRE
PARFUMERIE-COSMÉTIQUE

Organisé par le pôle de
compétitivité Cosmetic Valley,
en partenariat avec le CNRS

www.cosmetic-360.com

PARIS
CARROUSEL
DU LOUVRE

16.17
OCT.
2019

5e ÉDITION

cnrs &

Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes

cnrs

CNRS FORMATION ENTREPRISES
Organisme de formation continue

260 formations technologiques courtes proposées par le CNRS dans ses laboratoires de recherche

pour les chercheurs, ingénieurs et techniciens des secteurs public et privé

Domaines de formation

Big data et IA, génie logiciel, sciences de l'ingénieur, chimie, biologie, microscopie, géographie, sociologie, cognition...

+ de 1600 stagiaires formés chaque année

Découvrez nos stages sur
cnrsformation.cnrs.fr

cfe.contact@cnrs.fr
@CNRS_CFE

CNRS
LE JOURNAL

Rédaction :
3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16
Téléphone : 01 44 96 40 00
E-mail : lejournal@cnrs.fr
Le site Internet : https://lejournal.cnrs.fr
Anciens numéros :
https://lejournal.cnrs.fr/numeros-papiers

Directeur de la publication :
Antoine Petit
Directrice de la rédaction :
Brigitte Perucca
Directeur adjoint de la rédaction :
Fabrice Impériali
Rédacteur en chef :
Matthieu Ravaud
Rédactrice en chef adjointe :
Charline Zeitoun
Rédacteurs :
Laure Cailloce, Yaroslav Pigenet,
Laurence Stenvot
Assistante de la rédaction et fabrication :
Laurence Winter
Ont participé à ce numéro :
Stéphanie Arc, Kheira Bettayeb,
Anne-Sophie Boutaud, Anaïs Culot,
Denis Guthleben, Romain Hecquet, Martin Koppe,
Luce Lebart, Louise Mussat, Vahé Ter Minassian,
Philippe Testard-Vaillant, Émilie Silvoz
Secrétaires de rédaction :
Isabelle Grandrieux, Catherine Caltaux
Conception graphique :
Céline Hein
Iconographes :
Anne-Emmanuelle Héry,
Marie Mabrouk
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.

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

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

En couverture :
Cornets acoustiques qui s'inspirent de ceux élaborés pendant la Première Guerre mondiale (1935).
PHOTO : FONDS HISTORIQUE/CNRS PHOTOTHÈQUE

Conformément à l'annonce faite le 1er février par le Premier ministre Édouard Philippe à la convention des directeurs et directrices d'unité pour lancer l'année de célébrations des 80 ans du CNRS, une loi de programmation pluriannuelle de la recherche (LPPR) est en préparation. Le CNRS, au diapason de toute la recherche publique, s'est félicité de cette annonce. Nous nous sommes depuis largement impliqués dans cette préparation, organisant une très large consultation des unités de recherche et une session extraordinaire du comité national.

Notre investissement dans la réflexion conduite par les trois groupes de travail mis en place par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation a été important, au-delà de ma participation en tant que corapporteur du groupe sur le financement de la recherche.

"Le CNRS attend une loi ambitieuse qui traduise la volonté de notre pays de compter sur la scène internationale."

Nous espérons avoir ainsi contribué à ce que la LPPR soit la grande loi dont notre pays a absolument besoin. Le CNRS attend une loi ambitieuse qui traduise la volonté de notre pays de compter sur la scène internationale, l'inscrive dans une trajectoire à dix ans, tienne compte de l'évolution du paysage international de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, renforce l'attractivité des carrières de la recherche, positionne la science au cœur des grands défis sociétaux et facilite les interactions entre le monde académique et le monde socio-économique.

Nous sommes convaincus qu'aujourd'hui, plus que jamais, investir dans la recherche est indispensable. C'est important bien sûr car nous sommes un grand pays de culture et que l'avancée des connaissances a toujours fait partie des moteurs de notre nation. C'est essentiel pour de nombreux enjeux industriels et économiques qui ne peuvent être appréhendés qu'en s'appuyant sur la meilleure science. En particulier, les innovations de rupture sont essentielles pour conquérir de nouveaux marchés, ou simplement les conserver, et créer des emplois et de la valeur. Et c'est vital pour faire face aux objectifs de développement durable, concernant notamment le réchauffement climatique, les énergies renouvelables et la santé mais aussi la sécurité et l'intelligence artificielle, des domaines parmi d'autres pour lesquels nous avons besoin d'une recherche française et européenne au meilleur niveau international. Dans tous les cas, il en va de notre souveraineté.

Antoine Petit,
président-directeur général du CNRS

© F. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

© S. DE SAKUTIN/POOL/AFP

GRAND FORMAT 13

Notre-Dame : cathédrale de la recherche 14
La saga des inventions 26
Climat : ces chercheurs qui ont choisi la France 32

© F. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

Thomas Ebbesen, médaille d'or du CNRS 6

EN PERSONNE 5

Sophie Carenco, la jeune garde des nanoparticules 9
Un carré d'as pour l'innovation 10

© HURCA /STOCK.ADOBE.COM

L'Europe met le cap sur l'innovation 42

EN ACTION 37

Affaire Dreyfus : quand le monde écrivait à Zola 38
La multiplication réinventée 40
Ces microtravailleurs de l'ombre 44
Le CNRS ouvre sa première filiale à l'étranger 46
Décoder le langage interne du cerveau 48
Le CNRS étoffe sa présence sur les grands sites 50
Histoire d'eaux 52

© NETFLIX

Le robot, un animal comme les autres ? 54

LES IDÉES 53

3 questions à Éric Humler 55
Maths et industrie, le compte est bon 56
Le CNRS, 80 ans d'histoire (3/4) 58
Les terres rares, et après ? 61
La communication au cœur des connaissances 62

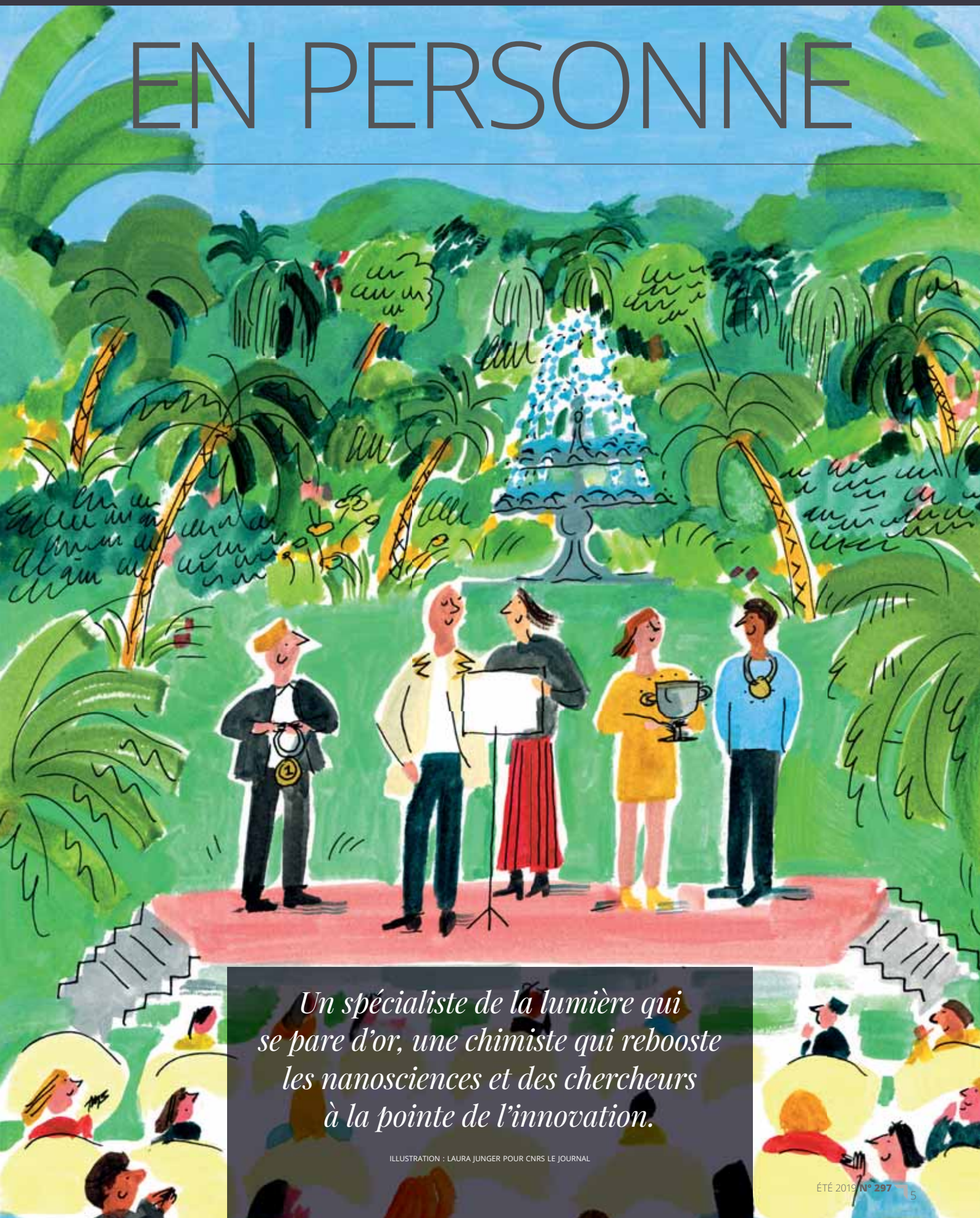
CARNET DE BORD

Isabelle Viaud-Delmon nous raconte un souvenir de recherche 64

IL ÉTAIT UNE FOIS LE CNRS

Le compte à rebours est lancé ! 66

EN PERSONNE



Un spécialiste de la lumière qui se pare d'or, une chimiste qui rebooste les nanosciences et des chercheurs à la pointe de l'innovation.

ILLUSTRATION : LAURA JUNGER POUR CNRS LE JOURNAL

Thomas Ebbesen, médaille d'or du CNRS

« Je me sens comme un explorateur »

PROPOS RECUEILLIS PAR LOUISE MUSSAT

Événement. La médaille d'or du CNRS distingue cette année Thomas Ebbesen. Auteur de plusieurs découvertes majeures, ce Franco-Norvégien, spécialiste de la lumière, nous parle de ses travaux actuels pour percer les secrets de la matière.

La médaille d'or du CNRS vient récompenser votre parcours, marqué par des découvertes importantes dans différents domaines et teinté d'une approche transdisciplinaire…

Thomas Ebbesen[1] : En la matière, je suis en effet un cas d'école : la multidisciplinarité, c'est ma marque de fabrique. J'ai changé de domaine de recherche trois fois. Avec les « états hybrides », mon sujet actuel, j'en suis au quatrième. J'ai d'abord fait une licence en biologie-chimie, avant de faire une thèse en photochimie physique, sur la photosynthèse artificielle. Ensuite, j'ai travaillé sur les matériaux carbonés de 1990 à 2000. Dans ce domaine, j'ai trouvé la manière de fabriquer en grande quantité des nanotubes. Ces matériaux sont les plus résistants que l'homme connaisse. Puis j'ai fait un virage vers la nanophotonique et j'ai travaillé sur les réseaux de trous, ce qui m'a permis de mettre en évidence de nouvelles propriétés de la lumière (lire l'encadré p. 8) et m'a valu le prix Kavli ainsi que le prix Quantum Electronics de la Société européenne de physique. Aujourd'hui donc, je me consacre à l'électrodynamique quantique. À chaque fois que j'aborde un nouveau sujet, j'ai peu de connaissances du domaine et donc peu de préjugés sur ce qui est possible ou impossible, alors je teste, j'expérimente. Le fait de ne pas être confiné dans un domaine spécialisé me rend plus libre. Le but de la recherche scientifique c'est d'explorer non ? Moi, je me sens comme un explorateur.

Lire le portrait de Thomas Ebbesen paru en 2015 dans CNRS le journal sur **lejournal.cnrs.fr**

Repères

1954	Naît le 30 janvier à Oslo, en Norvège
1964	Déménage à Paris avec sa famille
1988	Rejoint la société NEC, à Tokyo, au Japon, où il découvre l'année suivante une nouvelle propriété de la lumière
2005	Dirige l'Institut de science et d'ingénierie supramoléculaires (CNRS/université de Strasbourg) jusqu'en 2012
2019	Reçoit la médaille d'or du CNRS

Plus précisément, qu'explorez-vous actuellement ?

T. E. : Je travaille sur des états hybrides lumière-matière… et je m'amuse comme je ne me suis jamais amusé de ma vie ! Avec mon équipe, j'ai réussi à modifier les propriétés de la matière, uniquement via les fluctuations quantiques du vide. On savait jouer sur ces propriétés au moyen de la chimie ou en utilisant des lasers par exemple. Mais ce que nous faisons, c'est un peu de l'alchimie avec le vide.

Comment procédez-vous ?

T. E. : C'est une manip assez simple : j'enferme des molécules dans une cavité optique formée par deux miroirs placés l'un en face de l'autre. Le tout dans le noir. Il n'y a aucune lumière, mais il y a, comme absolument partout dans l'Univers, des fluctuations quantiques du vide. Ces fluctuations génèrent de manière transitoire des champs électromagnétiques. Le jeu consiste à ajuster la distance entre les deux miroirs (avec un simple tournevis !) jusqu'à ce que les champs électromagnétiques entrent en résonance avec les molécules. Ce qui signifie qu'elles résonnent à la même fréquence, un peu comme des soldats qui marchent tous exactement au même pas sur un pont qui se met à vibrer en conséquence. Lorsque c'est le cas, les deux entités « se parlent » et s'échangent des photons « éphémères ». Ce qui a pour conséquence de changer les propriétés des molécules, notamment leur conductivité, leur réactivité chimique… On dit alors que la matière et la lumière (les fameuses fluctuations du vide) s'hybrident. Nous avons posté une vidéo en ligne afin que tout le monde puisse fabriquer le dispositif.

1. Thomas Ebbesen est professeur de l'université de Strasbourg et directeur de l'Institut d'études avancées de l'université de Strasbourg.

© F. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

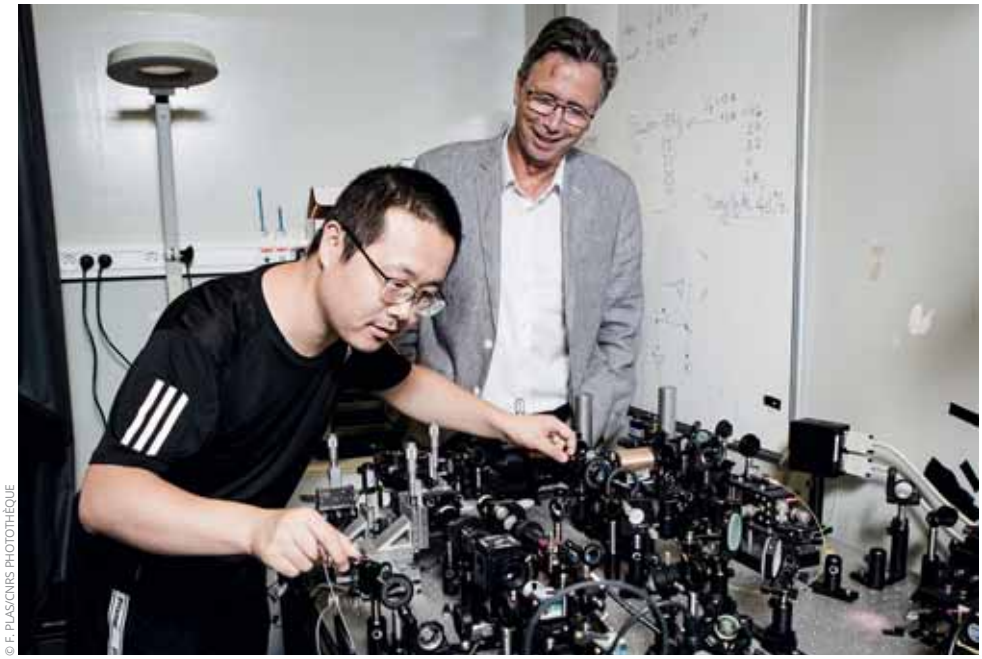
Quel cheminement intellectuel vous a mené à cette découverte ?

T. E. : J'ai lu un article dans un journal de physique sur l'électrodynamique quantique et les interactions lumière-matière. Je me suis tout de suite demandé si elles seraient susceptibles de modifier la matière. C'était une idée incongrue, les physiciens qui avaient travaillé sur les interactions lumière-matière n'avaient pas pensé à explorer cette possibilité. Mais moi qui venais de la chimie, je n'avais pas d'a priori ; je me suis donc lancé. Je travaillais en particulier avec deux post-doctorants, l'un Australien, l'autre Israélien, respectivement chimiste et physicien. Ils ont brillamment mis en musique mon idée et un jour, au bout de deux ans de travail, on a mesuré un changement dans la réactivité chimique de nos molécules, nous étions superexcités ! Cependant, dès l'obtention des premiers résultats, j'ai dû faire face à pas mal de résistance : les journaux très cotés, à qui j'avais soumis notre découverte, m'ont rétorqué que c'était de la science-fiction. Notre article a été refusé dans deux journaux, avant d'être accepté par un autre journal. Et même face à ces premiers résultats positifs, nombreux sont restés incrédules. C'est en effet très contre-intuitif, et pourtant c'est bien réel. Cela montre que la nature est pleine de surprises et que l'on n'a jamais fini de découvrir de nouvelles choses, comme on découvre sans cesse de nouveaux paysages.

“À chaque fois que j'aborde un nouveau sujet, j'ai peu de connaissances et donc peu de préjugés sur ce qui est possible ou impossible, alors je teste, j'expérimente.”

L'éclectisme au sein de vos équipes semble être une autre constante de votre parcours…

T. E. : J'ai eu la chance de toujours évoluer dans des milieux pluridisciplinaires, où des chercheurs aux spécialités très diverses interagissaient fortement. J'essaie en effet de maintenir cette synergie. Dans mon équipe, il y a aussi bien des physiciens et des chimistes que des biologistes. Je collabore tous les jours avec des profils très divers, aux compétences pointues : par exemple des experts en biologie de synthèse, des spécialistes de l'activité enzymatique… Si je n'avais pas profité de toutes ces interactions, je n'aurais jamais pu obtenir tous ces résultats. Il faut dire aussi que je travaille dans une ambiance extraordinaire, où l'émulation et la bienveillance sont mêlées. C'est très stimulant, très enrichissant, ça m'inspire autant que ça me porte. …



© F. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

Thomas. Ebbesen et Wang Kuidong (post-doctorant de physique), au Laboratoire des nanostructures à l'Institut de science et d'ingénierie supra-moléculaires.

“Je travaille sur des états hybrides lumière-matière… et je m'amuse comme je ne me suis jamais amusé de ma vie!”

… Au cours de votre carrière, vous avez travaillé pour le secteur privé (l'entreprise japonaise NEC), vous avez déposé plusieurs dizaines de brevets. Quelles sont les applications possibles de vos recherches sur l'hybridation lumière-matière ?

T. E. : Le premier avantage de notre approche, c'est de pouvoir baisser le coût énergétique d'une réaction visant à transformer de la matière. Depuis les pots d'échappement jusqu'à la pharmacologie, toute l'industrie utilise pour ce faire des catalyseurs. Pour franchir la barrière en deçà de laquelle aucune réaction ne se produit, il faut chauffer le dispositif. Plus ou moins en fonction de ce que l'on souhaite obtenir. Utiliser les fluctuations du vide permet dans certains cas d'abaisser cette fameuse barrière, et donc de faire des économies drastiques d'énergie. Grâce à notre technique, dont la communauté s'est aujourd'hui emparée, une équipe japonaise est ainsi parvenue à faire baisser le coût énergétique d'une réaction d'un facteur 10 000. Cela signifie qu'en un temps donné, ils produisent 10 000 fois plus de molécules. Évidemment, cela commence à exciter beaucoup de monde…

Des collaborations sont-elles déjà en cours avec l'industrie ?

T. E. : Je suis d'ores et déjà en contact avec deux grandes entreprises qui veulent voir si mon savoir-faire peut apporter une différence dans leurs procédés. Mais il faut noter que, pour l'heure, nous n'avons testé qu'un nombre limité de réactions chimiques. D'autres équipes dans le monde y travaillent de sorte qu'environ vingt réactions ont été étudiées à ce jour. Quand on en aura étudié une centaine, on sera peut-être en mesure d'extraire de toutes ces manips des grands principes fondamentaux, car, à ce stade, nous ne comprenons pas tous les détails de nos résultats. Nous voulons savoir quelle vibration précise de telle molécule influe sur une réaction donnée. Autrement dit : quelle note de musique fait réagir l'audience. Nous voulons aussi explorer les conséquences pour la physique des solides, entrevoir des applications possibles en médecine. On ne voit pour le moment que la pointe de la partie émergée de l'iceberg… Mais comme je suis libre d'explorer à ma guise, nous allons pouvoir avancer.

Quand vous ne jouez pas avec les fluctuations électromagnétiques du vide ou les réseaux de trous, que faites-vous ?

T. E. : Je pars dans la France profonde, au bord de la Creuse. Là-bas, je déconnecte complètement, ce qui est indispensable pour garder le cerveau vif ! Je lis, je bricole, je fais du ciment, des travaux de peinture, bref, beaucoup de travaux manuels. Je m'occupe de mon champ, je contemple la beauté de la nature. Je me plais à me dire que j'ai, modestement, découvert certains de ses petits secrets. ■

Rien n'arrête la lumière

En 1998, Thomas Ebbesen a démontré un nouveau phénomène optique : la transmission extraordinaire. Il découvre que la lumière peut passer avec une grande efficacité par des ouvertures de taille plus petite que sa propre longueur d'onde, contrairement à ce qui était admis à l'époque. La découverte trouve ses origines dix ans plus tôt lorsque le scientifique travaillant à Tokyo pour la société NEC tombe sur un article du physicien Serge Haroche. Depuis elle a connu de nombreuses applications industrielles, de l'amélioration de la qualité des lasers à l'augmentation du rendement des fibres optiques.

© DÉLÉGATION PMA/CNRS PHOTOTHÈQUE

Sophie Carenco, la jeune garde des nanoparticules

Nanosciences. Rencontre avec Sophie Carenco, spécialiste des nanomatériaux et médaille de bronze du CNRS 2018, qui participait cet été à l'organisation du congrès du centenaire de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC).

PROPOS RECUEILLIS PAR MARTIN KOPPE

Du 5 au 12 juillet, Paris a accueilli le congrès bisannuel de l'IUPAC. Quelle a été votre implication dans cet événement ?

Sophie Carenco[1] : Il s'agissait à la fois d'un congrès scientifique et de l'assemblée générale de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC) dont nous célébrions le centenaire. Ce consortium de scientifiques, l'un des premiers à avoir réuni industriels et académiques, gère historiquement la nomenclature chimique, afin de décider comment on nomme les molécules, et définit les unités de mesure. À cette occasion, j'ai coorganisé avec des collègues le symposium « Young Chemists » pour recueillir le point de vue de ces doctorants et jeunes chercheurs, dont une bonne partie ne va pas faire carrière dans la recherche académique, et leur proposer des sessions plus professionnalisantes sur la création de start-up ou des outils pour l'enseignement. Le sujet me tient à cœur, car, globalement, j'ai le sentiment que les jeunes chercheurs et les enseignants-chercheurs n'ont pas assez de temps pour prendre part aux discussions qui les concernent. Ils doivent assumer des charges administratives et d'enseignement et faire leurs preuves dans un contexte très compétitif. Cela leur donne peu de latitude pour s'impliquer dans des instances internationales. C'est un problème car des décisions y sont prises qui affectent directement leur présent et leur futur.

Quels sont vos thèmes de recherche ?

S. C. : Je fabrique des nanomatériaux. Pour cela, j'essaye de choisir les bonnes molécules de départ afin d'obtenir des nanoparticules présentant la composition et la forme que je souhaite. En plus de métaux comme le cobalt et le nickel, j'y incorpore également des éléments légers, généralement peu associés aux métaux dans les nanoparticules, tels que le soufre, le carbone ou le phosphore. J'ai recours à des composés dont les propriétés sont bien connues à l'échelle de solides macroscopiques, mais que nous ne savons pas bien fabriquer à l'échelle nanométrique. J'espère utiliser certains de ces composés pour catalyser la transformation du dioxyde de carbone ou du dihydrogène. Ces petites molécules interviennent dans de nombreuses réactions que de meilleurs catalyseurs rendraient plus faciles et donc plus douces pour l'environnement. Les autres applications sont légion : cela peut aussi bien servir pour l'IRM que pour de la photocatalyse sous lumière visible.

Quelles sont les principales orientations de la recherche sur les nanoparticules ?

S. C. : Nous tentons de cerner les concepts qui régissent le comportement des nanomatériaux, afin de tirer de grandes règles de l'ensemble des propriétés que nous observons et découvrons. Par exemple, nous ne prédisons pas encore très bien le point de fusion d'une nanoparticule, qui n'est pas identique à celui du solide usuel. Contrairement aux mathématiques, la chimie fonctionne selon un raisonnement par induction : elle prend des résultats du terrain et remonte ensuite aux relations théoriques qui les contrôlent. Pour les nanotechnologies, ces réflexions se sont accélérées au début des années 2000. Cette dynamique et cette composante exploratoire sont fascinantes pour une jeune chercheuse comme moi, car c'est l'occasion d'attaquer des travaux sur le long terme. Nous sommes à un tournant où tout avance très vite. II

1. Sophie Carenco est chargée de recherche au Laboratoire de chimie de la matière condensée de Paris (CNRS/Sorbonne Université/Collège de France).

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

Un carré d'as pour l'innovation

PAR MARTIN KOPPE

Talents. Ane Aanesland, Livio de Luca, Vance Bergeron et Orphée Cugat sont les lauréats 2019 de la médaille de l'innovation. Ce prix du CNRS récompense depuis 2011 des chercheurs pour leurs travaux dans les domaines technologiques, thérapeutiques, économique ou social.

© D. LEGGIO

Ane Aanesland

Vers des moteurs plus petits pour les satellites

Formée dans sa Norvège natale, Ane Aanesland est chargée de recherche CNRS au Laboratoire de physique des plasmas[1]. Elle a fondé en 2017 la start-up ThrustMe avec son collègue Dmytro Rafalskyi (lire aussi p.42). *« L'industrie spatiale s'oriente vers des satellites de plus en plus petits, organisés en constellations,* explique la PDG de ThrustMe. *Comme ces satellites deviennent monotâches et moins chers à l'unité, l'ingénierie et la gestion des risques changent. »* La taille des propulseurs, utilisés par les satellites pour se maintenir aux bonnes orbites, s'avère particulièrement critique. Ane Aanesland a donc développé, avec Dmytro Rafalskyi et leur équipe, deux innovations majeures. Pour réduire la taille des moteurs jusqu'à 40 %, ThrustMe y unifie les sources d'ions positifs et d'électrons. En effet, la poussée de ces moteurs provient de l'éjection de matière ionisée, qui risque de réagir avec les parois du moteur et du satellite si elle n'est pas neutralisée par des électrons. L'autre axe est l'utilisation de l'iode à la place du xénon, très utilisé pour les systèmes de propulsion à plasma. L'iode est en effet nettement moins cher et se maintient bien sous forme solide, alors que le xénon est un gaz qui doit rester pressurisé. *« Nous voulons rendre durable ce nouvel usage de l'Espace,* insiste Ane Aanesland. *Nous devons parvenir à mieux contrôler les satellites pour éviter les collisions et améliorer leur durée de vie. »*

© P. PLAS/CNRS PHOTOTHÈQUE

Livio de Luca

Le patrimoine dans l'objectif

À l'interface des sciences humaines et sociales et du numérique, Livio de Luca se définit comme un chercheur en numérisation du patrimoine. Ce directeur de recherche au CNRS, à la tête du laboratoire Modèles et simulations pour l'architecture et le patrimoine (MAP)[2], a introduit des méthodes pour la reconstitution 3D de monuments. Celle du pont d'Avignon, l'une de ses réalisations, a été obtenue à partir de relevés 3D et de recherches historiques, archéologiques et géomorphologiques. En 2013, ses travaux ont également abouti à Nubes, système d'information 3D pour l'étude historique et l'analyse de l'état de conservation d'édifices. Livio de Luca a également accompagné l'émergence de la start-up Mercurio, spécialisée dans les solutions modulaires pour la numérisation 3D de collections des musées. *« Le caractère transversal des objets du patrimoine nous pousse à réunir différents points de vue »,* explique-t-il. En 2014, un laboratoire commun est ainsi créé entre MAP, et le Centre interdisciplinaire de conservation et de restauration du patrimoine. En 2018, ces travaux sont synthétisés avec la plateforme collaborative Aïoli. Chacun peut y ajouter photos et annotations, améliorant ainsi le double numérique de l'objet en question. En retour, notices et images sur le sujet sont spatialisées en 3D, consultables sur tous types d'écrans. Livio de Luca coordonne à présent le groupe de travail du CNRS sur les données numériques relatives à Notre-Dame de Paris (lire p. 14). *« Nous voyons à quel point les numérisations de la cathédrale sont utiles pour la restauration,* souligne-t-il. *Les retombées ne sont pas que technologiques, mais aussi sociétales. »*

Retrouvez ces portraits dans leur version longue sur
» **http://www.cnrs.fr/fr/talents/index**

© R. RAVIER-BOLLARD/STUDIO ERICK SAILLET

Vance Bergeron

Une échappée contre la paralysie

Directeur de recherche au sein du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure de Lyon[3], Vance Bergeron, lui-même devenu tétraplégique après un accident, améliore la qualité de vie des paralysés. Après une thèse en chimie à l'université californienne de Berkeley et quelques années chez Rhône Poulenc, il intègre le CNRS en 2000. *« J'ai travaillé avec Pierre-Gilles de Gennes, qui m'a conseillé de changer de sujet tous les dix ans pour rester frais,* explique le scientifique franco-américain. *Le CNRS m'a laissé le faire trois fois, je n'aurais probablement jamais eu autant de liberté ni de confiance ailleurs. »* Lancé en 2001 dans les systèmes de décontamination biologique de l'air par plasmas froids, il participe à la création de la société Airinspace, qui équipe différents services hospitaliers. Il est l'auteur d'une quarantaine de brevets. En 2013, une voiture le percute alors qu'il roulait à vélo. Mais rien n'arrête la détermination de Vance Bergeron. Il réoriente alors ses recherches vers la stimulation électrique fonctionnelle qui remobilise les membres paralysés grâce à de faibles impulsions électriques. Soutenu par le CNRS, le centre hospitalier des Hospices civils de Lyon et l'association Advanced Neurorehabiliation Therapies and Sport[4] (ANTS), qu'il a cofondée, il développe avec son ancien doctorant Amine Metani, *« mon bras droit et mon cerveau gauche »,* des vélos et rameurs à électrostimulation au sein de la start-up Circles. L'activité physique réduit en effet les complications liées à la paralysie. Les prototypes seront testés en 2020 dans la première salle de sport en France dédiée aux personnes handicapées moteur, récemment inaugurée par ANTS.

© UNIKSIUM

Orphée Cugat

La force magnétique

Avec ses douze familles de brevets, Orphée Cugat ne perd jamais l'innovation de vue. Directeur de recherche CNRS au Laboratoire de génie électrique de Grenoble[5], il invente des systèmes magnétiques exploitant la miniaturisation croissante des technologies. *« En réduisant l'échelle, certaines forces de répulsion magnétiques surpassent la gravité ou la tension de surface »,* s'enthousiasme Orphée Cugat. Ingénieur généraliste de formation, il s'oriente finalement vers une thèse. *« Lors de mon post-doc en Irlande,* se souvient-il, *il nous arrivait de récupérer du matériel dans les bennes de l'université pour construire nos propres instruments. »* À Grenoble, son groupe développe d'abord des moteurs et générateurs miniaturés, puis des systèmes originaux en lévitation et désormais des applications pour les technologies médicales. Son équipe est à l'origine de la start-up Enerbee, où une bouche d'aération connectée récupère assez d'énergie lors de sa rotation pour alimenter des capteurs intégrés de qualité de l'air. Plus ambitieuse encore, la start-up MagIA offre des diagnostics en quinze minutes pour détecter simultanément les hépatites B et C, et le VIH. Là aussi, la miniaturisation décuple les forces magnétiques qui capturent alors rapidement les marqueurs des pathologies ciblées. Au moment de lancer une start-up, Orphée Cugat préfère rester au laboratoire et explorer de nouvelles applications. Un esprit que l'on retrouve jusque dans sa passion pour le ski alpin, partagée avec son collègue et ami Jérôme Delamare. *« On fait de la recherche hors piste en commando,* s'amuse Orphée Cugat en filant la métaphore. *Nous sommes sans cesse en quête d'un nouveau champ de poudreuse vierge. »*

1. Unité CNRS/École polytechnique/Observatoire de Paris/Université Paris-Sud/Sorbonne Université. 2. CNRS/Ministère de la Culture. 3. Unité CNRS/ENS de Lyon/Université Claude-Bernard Lyon-1. 4. Sport et thérapies neuro-rééducative avancées. 5. Unité CNRS/Grenoble INP/Université Grenoble-Alpes.

Michel Talagrand, lauréat du prix Shaw 2019 de mathématiques

© D. TALAGRAND

Ancien directeur de recherche au CNRS, Michel Talagrand va recevoir le 25 septembre à Hong Kong le prix Shaw de mathématiques. Ce spécialiste de l'analyse fonctionnelle, des probabilités et de leurs applications, aujourd'hui membre de l'Académie des sciences, a passé toute sa carrière au sein de l'organisme, à l'Institut de mathématiques de Jussieu-Paris Rive Gauche[1]. Il est distingué pour ses travaux sur les inégalités de concentration, sur les processus stochastiques et sur les verres de spin. Créée il y a seize ans, cette récompense est décernée chaque année dans trois domaines : l'astronomie, les sciences de la vie et la médecine, et les sciences mathématiques.

1. Unité CNRS/Sorbonne Université/Université de Paris.

Le Cristal collectif du CNRS

Huit équipes d'ingénieurs et de techniciens se sont vu attribuer le Cristal collectif 2019 du CNRS, pour leur projet collectif innovant ou technique remarquable.

Les lauréats sont à découvrir sur
» **http://www.cnrs.fr/talent/index**

180 SECONDES D'OPÉRA

Le 13 juin, Grenoble accueillait la finale nationale du concours Ma thèse en 180 secondes. Et le grand vainqueur de cette édition 2019 est Tom Mébarki du laboratoire Perception, représentations, image, son, musique[1] qui reçoit le 1er prix du Jury et le prix du Public pour sa présentation « La "folie organisée" dans l'*opera buffa* rossinien. Vers une transhistoire du son ». Il représentera la France lors de la finale internationale qui se tiendra le 26 septembre à Dakar.

© D. PELLI/MT180 CPU - CNRS

Retrouvez le palmarès complet et les prestations sur
» **mt180.fr**

1. Unité CNRS/Université Aix-Marseille/Ministère de la Culture.

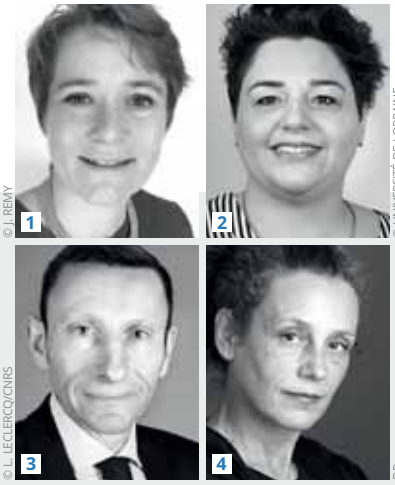
Le concours i-Lab

récompense 35 projets CNRS

Début juillet, la 21e édition du concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes i-Lab a distingué 75 projets dont 35 liés à des laboratoires du CNRS. L'organisme compte même 4 lauréats parmi les 10 Grands Prix ! Né en 1999 de la volonté du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation de renforcer le soutien à la création d'entreprises innovantes, d'accompagner au mieux le développement des start-up et d'encourager l'esprit d'entreprendre auprès des chercheurs et des jeunes de l'enseignement supérieur, le concours a permis la création de plus de 2000 entreprises.

Découvrez tous les résultats du concours i-Lab sur
» **www.cnrs.fr/lettre-innovation/actus.php?numero=602**

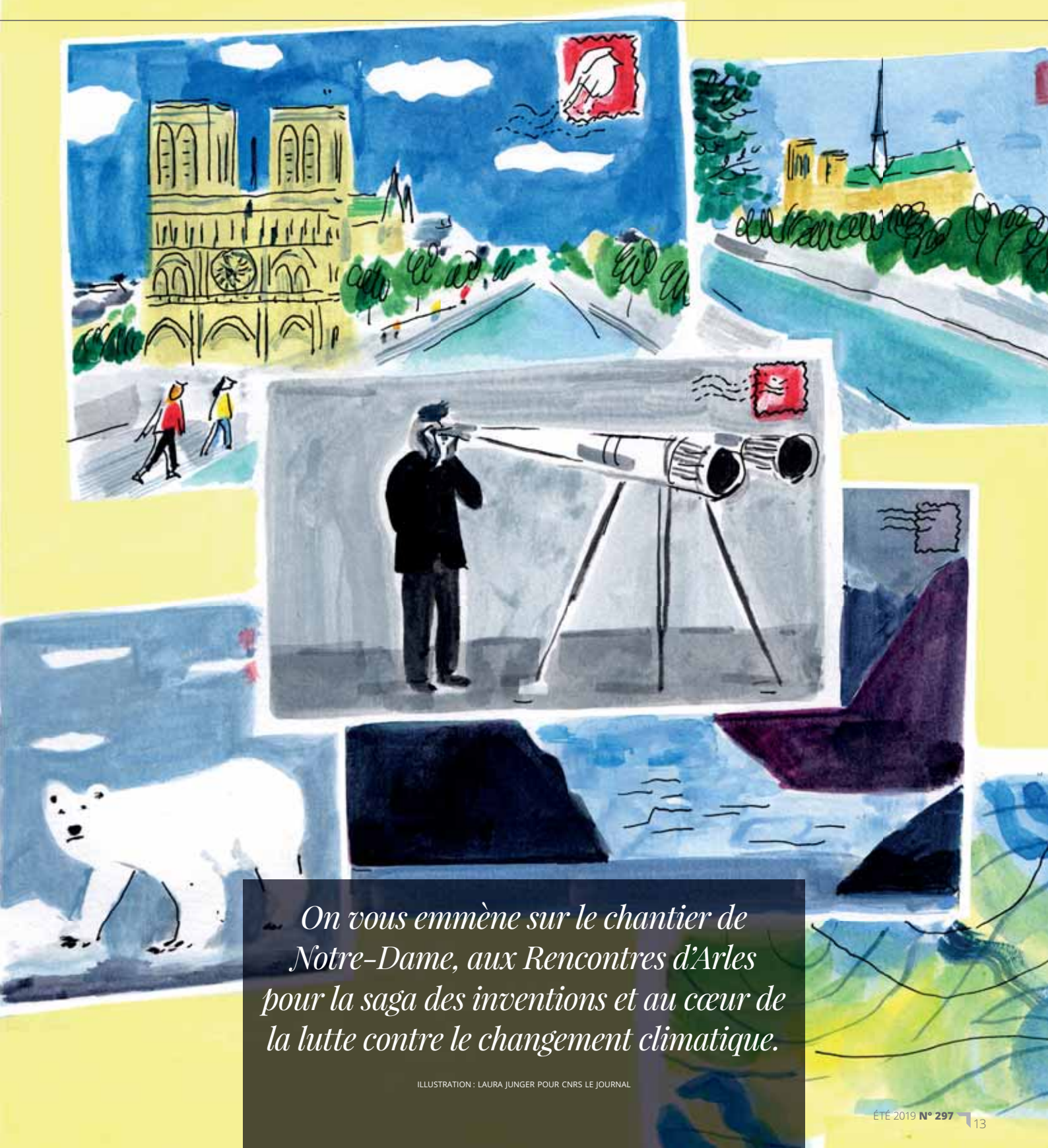
Nominations au CNRS



© J. REMY © UNIVERSITÉ DE LORRAINE © L. LECLERCQ/CNRS DR

Plusieurs prises de fonction ont eu lieu ces derniers mois au sein de l'organisme.
Ainsi, **Claire Werlen** (1), directrice des activités de la recherche et de l'innovation à l'Université Paris-Sud, a été nommée directrice de la Mission pilotage et relations avec les délégations régionales et les instituts, à compter du 1er septembre 2019. **Edwige Helmer-Laurent** (2), directrice de cabinet à l'Université de Lorraine, est la nouvelle déléguée régionale de la délégation Centre-Est. **Christophe Muller** (3), précédemment délégué régional adjoint de la délégation Île-de-France – Gif-sur-Yvette, est nommé à la tête de la délégation régionale Hauts-de-France. Enfin, **Chantal Vernis** (4) a été nommée directrice des opérations auprès du directeur général délégué à l'innovation.

GRAND FORMAT



On vous emmène sur le chantier de Notre-Dame, aux Rencontres d'Arles pour la saga des inventions et au cœur de la lutte contre le changement climatique.

ILLUSTRATION : LAURA JUNGER POUR CNRS LE JOURNAL

MATIÈRE NUMÉRIQUE

Le 15 avril 2019, un incendie frappait Notre-Dame de Paris. Le temps de l'émotion a maintenant fait place à celui de la restauration. Afin qu'historiens, archéologues, spécialistes des matériaux, acousticiens… mettent en commun leurs connaissances, le Chantier CNRS Notre-Dame a été lancé dès le mois de mai. *CNRS Le Journal* a accompagné, jusqu'au cœur de la cathédrale, celles et ceux qui font parler le bois calciné, les pierres meurtries et autres matériaux endommagés. Du recensement des données à la modélisation en passant par l'inventaire et l'analyse des débris, voyage à travers plus de huit cents ans d'histoire.

Notre-Dame : cathédrale de la recherche

DOSSIER RÉALISÉ PAR LÉA GALANOPOULO, LOUISE MUSSAT ET JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS.

© S. DE SAKUTIN/POOL/AFP

Comment est né le Chantier CNRS Notre-Dame que vous êtes chargés d'animer ?

Philippe Dillmann : Après l'incendie, plusieurs sujets de recherche ont rapidement émergé des laboratoires CNRS vers les instituts scientifiques. Il fallait donc coordonner l'ensemble des initiatives, identifier les besoins du chantier de restauration en termes de science et de technologie, et travailler en lien étroit avec le ministère de la Culture et la maîtrise d'œuvre du chantier de restauration – avec lesquels, une cellule de travail a très vite été mise en place – ainsi qu'avec l'Association des scientifiques pour la restauration de Notre-Dame[3].

Quels sont les grands axes de recherche retenus ?

Martine Regert : L'étude des matériaux organiques présents dans la cathédrale, comme le bois, constitue un premier axe. Un deuxième volet porte sur les autres matériaux comme la pierre et les métaux. La modélisation, les données numériques et les relevés de terrain, en sont un troisième. Des études d'anthropologie apporteront leur éclairage, notamment sur l'émotion collective suscitée par l'incendie. Et des recherches sur l'acoustique seront également mises en œuvre. Tous ces projets s'appuieront sur l'étude des archives historiques de la cathédrale, conservées aux Archives nationales. Le drame a permis d'ouvrir des possibilités de recherches nouvelles. Les chercheurs vont avoir accès à des matériaux jusqu'alors inaccessibles.

L'idée est de regrouper les chercheurs autour de ces projets de recherche transversaux pour éviter les doublons. Quels seront vos rôles ?

M.R. : Nous avons, dès les premières semaines, organisé de nombreuses réunions scientifiques pluridisciplinaires dans le cadre de collaborations entre les différents instituts et le ministère de la Culture. Et bien sûr, notre rôle est, au travers des groupes de travail, de mettre en contact des chercheurs qui ne se connaissent pas forcément pour qu'ils puissent travailler ensemble, échanger sur leurs approches. Nous recensons également les recherches déjà réalisées sur Notre-Dame dans nos laboratoires, car nous ne partons pas d'une page blanche. ...

© C. NEINNER 2019

Philippe Dillmann est directeur de recherche CNRS à l'Institut de recherche sur les archéomatériaux[1] et au Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération[2].

© T. PASSERAT

Martine Regert est directrice adjointe scientifique de l'Institut écologie et environnement du CNRS.

1. Unité CNRS/Univ. de technologie de Belfort-Montbéliard/Univ. d'Orléans/Univ. Bordeaux-Montaigne. 2. Nanosciences et innovation pour les matériaux la biomédecine et l'Énergie (CNRS/CEA). 3. https://www.scientifiquesnotre-dame.org.

… En s'effondrant, le toit de la cathédrale a laissé un amas de bois et de matériaux. Quelle a été l'urgence pour les chercheurs ?

M.R. : Empêcher la perte d'information scientifique. Le stockage des restes de charpente et des autres matériaux fait ainsi l'objet d'une grande attention. C'est la Direction régionale des affaires culturelles d'Ile-de-France qui est en charge de ces opérations sur le site.

P.D. : Des unités du ministère de la Culture[4] sont sur le terrain depuis le mois de mai et font un travail remarquable. Le Chantier CNRS Notre-Dame soutient ces recherches d'urgence, pour continuer une réflexion historique et scientifique sur la cathédrale.

Ces recherches pourront s'appuyer sur les nombreux travaux scientifiques déjà réalisés…

P.D. : Oui. Depuis des dizaines d'années, des recherches sont réalisées sur la cathédrale Notre-Dame et d'autres monuments gothiques par des historiens et des historiens de l'art bien sûr, mais aussi par des archéologues du bâti, des géophysiciens ou des archéomètres, qui mettent en œuvre des méthodes physico-chimiques pour l'analyse des matériaux. Mais beaucoup de questions scientifiques se posent encore. Les projets coordonnés par le Chantier CNRS Notre-Dame devront y répondre, en complément des problématiques liées à la restauration.

Les études seront coordonnées par le Chantier CNRS Notre-Dame en fonction des besoins du chantier et de leur pertinence. De quelles compétences dispose-t-on sur les matériaux ?

P.D. : Par exemple, pour l'analyse des matériaux par différentes méthodes physico-chimiques, des méthodologies adaptées aux matériaux anciens sont développées dans les laboratoires d'archéométrie tels que l'Institut de recherche sur les archéomatériaux. Des études isotopiques qui servent à la détermination de la provenance seront réalisées au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement[5] dont les datations radiocarbone sur la plateforme ARTEMIS-LMC 14[6]. Par ailleurs, l'étude de la charpente implique des laboratoires en bioarchéologie[7] qui développent notamment des recherches en archéobotanique. À plus long terme, l'accélérateur Aglaé du Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) et des lignes de lumière du synchrotron Soleil pourraient permettre de réaliser des études des matériaux sous contrainte de température ou d'atmosphère, afin de comprendre les effets des agressions environnementales.

Quid de la restauration ?

M.R. : Ce ne sont pas les scientifiques du Chantier CNRS Notre-Dame qui vont décider de l'organisation du chantier. Les groupes de travail mis en place se réunissent avec la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage. Bien sûr, en lien avec le ministère de la Culture, nous pourrons aussi étudier le comportement et la robustesse des nouveaux matériaux qui seront utilisés pour la restauration.

P.D. : Nos résultats pourront aussi servir à d'autres monuments gothiques. Par exemple : comprendre la manière dont la pierre calcaire a brûlé à Notre-Dame pourra, on l'espère, servir de référentiel pour l'étude d'autres monuments. C'est une réelle opportunité pour faire émerger des connaissances, mais aussi des méthodes d'étude innovantes et consolider la structuration des recherches interdisciplinaires autour des monuments anciens.

Le 29 juillet, une loi a été promulguée pour encadrer l'utilisation des dons et rendre possibles certaines dérogations afin d'accélérer les travaux. Qu'en est-il de vos échéances ?

M.R. : Pour l'instant nous nous donnons cinq ans. Cela n'a rien à voir avec l'objectif fixé par Emmanuel Macron mais correspond classiquement à un projet de recherche quinquennal. Dans cinq ans nous espérons donc nous réunir autour d'un colloque pluridisciplinaire et de la publication d'un ouvrage de synthèse de ces travaux. La motivation des chercheurs est très grande. Nous espérons également que les résultats serviront pour prévenir d'autres drames du même type. **II Propos recueillis par L.G.**

La cathédrale en feu le 15 avril 2019, à Paris.

© B. LEVY/DIVERGENCE

4. Par exemple le Laboratoire de recherche des monuments historiques, Centre de recherche sur la conservation (CNRS/MNHN/Ministère de la Culture). 5. Unité CNRS/CEA/Univ. de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Institut Pierre-Simon-Laplace. 6. Laboratoire de mesure du carbone 14 (CNRS/CEA/Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire/Ministère de la Culture/Institut de recherche pour le développement). 7. Comme le laboratoire d'Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements (CNRS/MNHN).

Faire parler les matériaux

Bois de chêne similaire à ceux de la charpente de Notre-Dame. Une partie de la rondelle a ici été calcinée en laboratoire pour servir de modèle de comparaison.

© C. FRÉSILLON/AASPE/CNRS PHOTOTHÈQUE

Bois, pierre, fer, plomb… Que sait-on des matériaux dont est faite Notre-Dame et des techniques de construction utilisées à l'époque ? Faudra-t-il les reproduire ? Et quelles analyses jusqu'alors impraticables sont à présent à portée de main ?

Pierre par pierre, poutre par poutre… Les premiers vestiges de Notre-Dame de Paris commencent à être évacués. Une somme de matériaux, bois, fer, pierre, qui représente la mémoire de la cathédrale, en cours d'expertise par la recherche française (lire p. 22). Car derrière le drame, l'incendie a ouvert des possibilités extraordinaires d'accès à ces matériaux souvent situés en hauteur, parfois jamais analysés. À commencer par la charpente de bois. Cette « forêt », composée de milliers de chênes assemblés il y a huit cents ans. *« Cela représente probablement 2 000 pièces de bois à étudier, parfois intactes ou brûlées en partie »*, explique Bernard Thibaut, directeur de recherche CNRS émérite au Laboratoire de mécanique et génie civil de Montpellier[1].

DENDRO-CHRONOLOGIE
Méthode de datation du bois à partir des cernes (anneaux) des arbres.

Pour l'heure, très peu de personnes ont accès aux décombres de la cathédrale, trop dangereux (lire p. 22). *« Le bois est toujours une archive très précieuse »*, indique Bernard Thibaut, et l'analyse des poutres de Notre-Dame permettra d'affiner la connaissance que nous avons de la charpente : l'origine des chênes, leur âge, leur mode de culture… *« Les études dendrochronologiques, des anneaux de bois, devraient également permettre de savoir quand le bois a été coupé »*.

Les caractéristiques de la charpente ne sont pas totalement inconnues. Frédéric Épaud, chargé de recherche au laboratoire Cités, territoires, environnement et sociétés (citeres)[2], à Tours, l'a observé avant l'incendie et a compilé de nombreux travaux qui permettent de déconstruire quelques préjugés tenaces (lire encadré p. 18).

La charpente étudiée post mortem

« Cette charpente a tenu huit cents ans, alors que personne ne garantirait une durée de service d'un siècle ou deux pour une charpente moderne, c'est exceptionnel ! », observe Bernard Thibaut. *« On retrouve en France moins de dix charpentes avec ce système de répartition des charges, témoignage d'une réflexion particulière propre au gothique francilien »*, ajoute Frédéric Épaud. La recherche va donc s'attacher à comprendre l'impact du temps sur ce bois, après des siècles de contraintes physiques exercées sur les poutres.

Les propriétés physico-chimiques, les variations de densité et de résistance devraient également être mises en lumière. *« Par exemple, je serais curieux de comprendre pourquoi la charpente de Notre-Dame est restée presque intacte d'attaque d'insectes, alors qu'elle n'a jamais été traitée »*, se demande Bernard Thibaut. En effet, l'aubier, en proie aux attaques larvaires, en est totalement vierge, même après huit cents ans. *« C'est peut-être lié à la présence de tanins, qui donnent leur odeur caractéristique aux chênes et aux châtaigniers et qui agiraient comme un répulsif »*, propose Bernard Thibaut.

Pour l'heure, ces travaux de recherche n'en sont qu'à leurs balbutiements, car les financements tardent à arriver, regrettent les deux spécialistes du bois, qui espèrent que la reconstruction s'inspirera des connaissances …

1. Unité CNRS/Univ. de Montpellier. 2. Unité CNRS/Univ. de Tours.

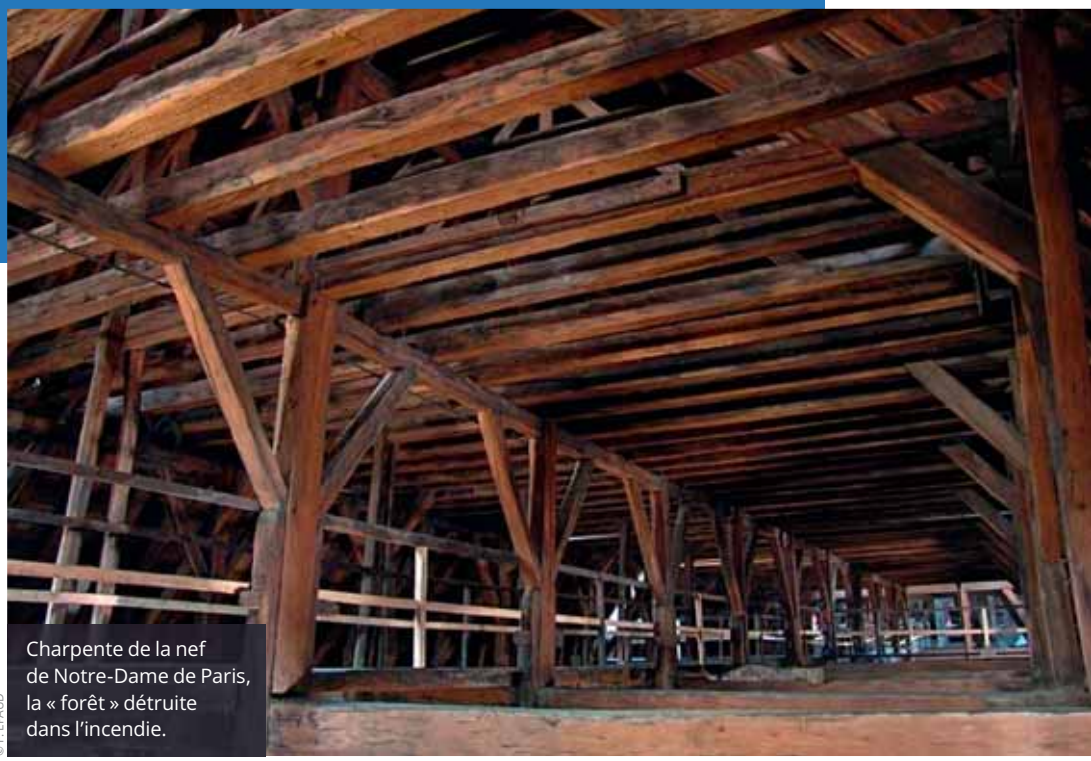
3 idées reçues sur la charpente

1 Elle n'a pas été bâtie avec d'épais chênes vieux de 300 ans, mais presque uniquement avec des arbres jeunes (70 ans environ), fins et élancés (25 cm de diamètre et 14 m de haut), typiques des charpentes du XIIIe siècle. *« Pour obtenir des chênes de cet âge aussi longs, il faut une forêt très dense, très compétitive, ce qui témoigne d'une sylviculture de qualité. Ces techniques du Moyen Âge seront confirmées par les investigations à venir »,* précise Frédéric Épaud du laboratoire Citeres.

2 Des forêts entières n'ont pas été abattues pour la construire. Seuls 3 hectares de forêt à haute densité de peuplement ont suffi pour abattre le millier de chênes nécessaire. Et Notre-Dame n'est pas une exception : *« Il n'y avait pas à l'époque de défrichement massif des forêts de chênes pour la construction des cathédrales »,* commente le chercheur.

3 Elle ne comportait pas une seule charpente gothique, mais trois : *« Il y a la charpente du cœur (qui date de 1220), celle de la nef (bien plus perfectionnée et qui daterait de 1230-1240), toutes deux réutilisant le bois de celle construite en premier et qui date de 1160. Cela devrait être confirmé par la datation du bois suite à l'incendie »,* espère Frédéric Épaud.

Lire l'article « Charpente de Notre-Dame : stop aux idées reçues ! » sur **lejournal.cnrs.fr**



Charpente de la nef de Notre-Dame de Paris, la « forêt » détruite dans l'incendie.

© F. ÉPAUD

... scientifiques sur la charpente. Pour Frédéric Épaud, comme pour Bernard Thibaut, l'évidence serait de reconstruire la charpente à l'identique : *« Quand on voit une charpente qui a tenu pas loin de mille ans, cela ne paraît pas aberrant de s'en inspirer »,* indique Bernard Thibaut. Ils espèrent que les mêmes genres de chênes, très résistants, vont être utilisés pour la restauration. Environ 30 % des forêts françaises sont constituées de chênes, soit 200 millions d'arbres. Une espèce *« sous-valorisée »* selon Bernard Thibaut, qui précise *« qu'on a davantage de chênes actuellement en France qu'au Moyen Âge ».*

La pierre calcinée

Autre proposition des chercheurs : utiliser les techniques d'équarrissage du bois d'époque, c'est-à-dire à la hache et non à la scie. *« Comme au XIIe siècle, la hache est une technique efficace, qui prend peu de temps et surtout respectueuse de l'environnement. En effet, tout peut être fait sur place et il y a très peu de gaspillage de bois pour réaliser une poutre. Et cette poutre est plus stable qu'une poutre en bois scié »,* insiste Frédéric Épaud, qui se dit *« farouche défenseur de la restauration à l'identique »* et regrette l'arrivée des industriels du béton ou de la scierie dans le débat.

La question de la réutilisation des matériaux de Notre-Dame se pose également sur les pierres de la cathédrale. Construite en calcaire lutétien, la cathédrale a vu ses pierres abîmées par le feu et l'eau utilisée pour éteindre l'incendie. *« La chaleur cuit le calcaire qui se décarbonate (c'est-à-dire que le CO_2 qui s'y trouvait est éliminé), perd de sa cohésion et se transforme en chaux,* explique Philippe Bromblet, ingénieur de recherche au sein du laboratoire Modèles et simulations pour l'architecture et le patrimoine-Centre interdisciplinaire de conservation et de restauration de patrimoine (MAP-CICRP)[3]. *Chauffée et imbibée d'eau, la pierre de Notre-Dame perd de sa résistance et ses propriétés mécaniques se modifient. »*

Ce calcaire lutétien a des caractéristiques très différentes en fonction du banc, dans la même carrière. *« Il peut parfois être très résistant, c'est ce qu'on appelle le liais, utilisé de préférence dans les parties de l'édifice destinées à porter des charges lourdes,* explique Philippe Bromblet. *Les caractéristiques physico-chimiques de la pierre ne sont pas uniformes sur la cathédrale. »* Les

ÉQUARRISSAGE
Taille à angle droit afin de donner une forme carrée ou rectangulaire à un tronc d'arbre.

CALCAIRE LUTÉTIEN
Couche sédimentaire, typique du bassin parisien, âgée de 40 à 45 millions d'années.

BANC
Couche géologique sédimentaire généralement étendue mais d'épaisseur réduite.

pierres de Notre-Dame ont été extraites de carrières souterraines creusées sous les 5e et 12e arrondissements de Paris. Le même calcaire a servi pour les châteaux de Versailles (Yvelines), de Vaux-le-Vicomte (Seine-et-Marne) ou encore la cathédrale de Reims (Marne). *« Il n'y a évidemment plus du tout d'exploitation de ces pierres, on ne pourra pas en extraire pour reconstruire Notre-Dame »,* souligne Philippe Bromblet. En France, très peu de carrières subsistent, encore moins avec ce type de calcaire. *« La plus grande partie des carrières a disparu au XXe siècle, avec l'arrivée du béton »,* poursuit le chercheur. Bien qu'un décret autorise la réouverture de petites carrières pour restaurer des monuments, *« c'est très compliqué d'un point de vue réglementaire et écologique et même impossible dans l'agglomération parisienne. Des affleurements existent en Ile-de-France où l'on pourrait envisager d'ouvrir une carrière pour la restauration de la cathédrale ».*

> *“La charpente de Notre-Dame est restée presque intacte d'attaque d'insectes, alors qu'elle n'a jamais été traitée.”*

Des pierres de substitution peuvent être utilisées. Mais *« l'idéal serait de garder les pierres d'origine si leur état le permet »,* commente Philippe Bromblet. La première étape sera donc de les sortir et de les faire sécher, *« pour qu'elles retrouvent leur qualité, puis probablement trier celles qui sont réutilisables, en évaluant l'impact du feu et de l'eau sur leurs propriétés mécaniques »,* indique Philippe Bromblet.

Autre voie de recherche envisageable : trouver des moyens de consolidation de la pierre, avec des traitements à base de silice, de nanoparticules ou encore par biominéralisation. *« Cela consiste à nourrir des bactéries en surface de la pierre, qui vont alors fabriquer de la calcite et la réparer »,* précise-t-il. Pour l'heure, cette technique ne permet qu'une restauration de surface, mais des travaux sont actuellement menés sur de nouvelles souches de bactéries qui pourraient agir plus en profondeur. *« C'est une voie totalement "naturelle" que nous allons tester sur une église du XIIe siècle dans la région de Montpellier »,* informe Philippe Bromblet. Si ces traitements s'avèrent efficaces, ils pourraient permettre la consolidation de certaines parties de la cathédrale de Paris, par exemple la plus exposée à la pluie.

Le fer fait date

L'un des atouts des groupes de travail sur la cathédrale est de rassembler bon nombre de chercheurs autour d'un seul matériau. Et depuis quelques semaines, un groupe de recherche sur le métal de Notre-Dame a été lancé, avec, pour commencer, l'étude du fer. *« On va chercher à savoir s'il y a des chaînages de fer insérés dans la maçonnerie des XIIe ou XIIIe siècles, pour consolider les structures, comme c'est le cas dans la nef* ...

© PH. DILLMANN

Haut-chœur de Notre-Dame de Paris où l'on distingue, au centre, le chaînage de fer posé au XIXe siècle. Pour la future restauration des pierres abîmées par le feu et l'eau, des traitements de surface utilisant des bactéries seront testés.

Chaînage de fer inséré dans la maçonnerie de la basilique Saint-Denis. Les analyses détermineront si Notre-Dame, elle aussi bâtie aux XIIe et XIIIe siècles, dispose du même type de consolidation.

© M. L'HÉRITIER

3. Laboratoire commun MAP-CICRP (CNRS/Ministère de la Culture).

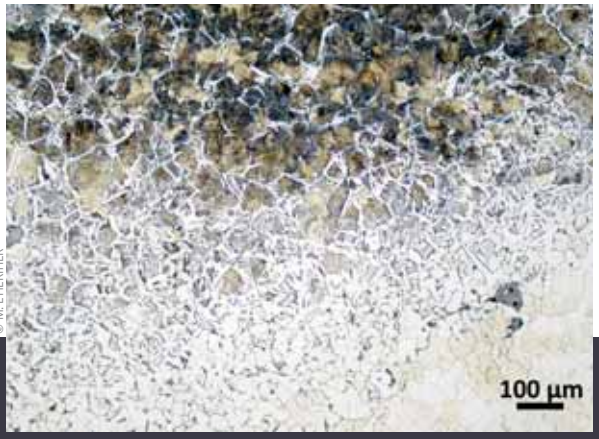
... de la basilique Saint-Denis, qui date de la même époque », explique Maxime L'Héritier, maître de conférences en histoire médiévale à l'Université Paris-8 et membre de l'unité Archéologies et sciences de l'Antiquité[4]. Des investigations radar devront être menées sur les parties hautes de la cathédrale.

Seconde étape des recherches : utiliser le carbone 14 pour dater le fer. *« Celui des cathédrales est généralement un mélange de fer et d'acier, lui-même un alliage de fer et de carbone. Pour dater le fer, nous datons donc le carbone présent dans l'acier, qui provient du charbon utilisé pour la réduction du minerai. Cela nous donne la date de l'arbre dont est issu le charbon, avec la précision d'une datation classique au carbone 14 »*, explique Maxime L'Héritier. Cette technique a déjà été utilisée sur la cathédrale de Bourges (Cher) ou la Sainte-Chapelle de Paris[5].

Dater le fer de la cathédrale permettra ainsi de reconstituer l'histoire de la maçonnerie et de la charpente, *« car nous pourrons savoir si c'est du fer des XIIe-XIIIe, XVe-XVIe siècles ou plus tardif, et donc retracer les différentes étapes de construction et de consolidation »*, indique Maxime L'Héritier. Une aubaine, car peu d'archives circulent sur ces hypothétiques consolidations. La qualité du fer utilisé, tout comme sa provenance géographique, sera aussi explorée grâce à des analyses métallographiques : *« Les impuretés présentes dans le métal permettent de retracer l'origine géographique des minerais de l'époque. Des référentiels chimiques sont constitués depuis plusieurs années par les chercheurs de l'Institut de recherche sur les archéomatériaux[6] et du Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération[7]. On ne part donc pas totalement de zéro »*, souligne Maxime L'Héritier.

Présent sur la toiture de la cathédrale et sa flèche, toutes deux datées du XIXe siècle, mais aussi dans certains scellements internes (pour le maintien du verre des vitraux par exemple), le plomb a largement fondu.

CARBONE 14
Forme radioactive du carbone dont la mesure de l'activité permet de connaître le temps écoulé depuis la mort de l'organisme (animal ou végétal) qui le constitue.



© M. L'HÉRITIER

Fer contenant de l'acier (zone du haut), comme celui de la plupart des cathédrales. L'acier étant lui-même un alliage de fer et de carbone que l'on peut dater, il sera possible de reconstituer l'histoire de la maçonnerie de Notre-Dame.

La toiture de la cathédrale était couverte de plomb qui a largement fondu pendant l'incendie.

© A. TIMBERT

Un son à reconstruire

L'orgue qui résonne, les bruits de pas feutrés, les chuchotements… Notre-Dame de Paris se caractérise aussi par une acoustique extraordinaire, que s'attelle à étudier un binôme de chercheurs. *« Je réalise la captation et la simulation acoustique de la cathédrale »*, explique Brian FG Katz, acousticien, directeur de recherche CNRS à l'Institut Jean le Rond d'Alembert[1]. *« Et je nourris cette acoustique avec l'histoire, un mixage sonore guidé par les archives, un habillage du son »*, complète Mylène Pardoen, archéologue du paysage sonore à la Maison des sciences de l'homme Lyon Saint-Étienne[2]. Car l'acoustique de la cathédrale ce n'est pas seulement la réverbération des sons sur la pierre, *« c'est aussi tout ce qui se passe sur le parvis à différentes époques : l'Hôtel-Dieu, l'hôpital des Enfants-Trouvés, les métiers de tannerie sur les quais de Seine »*, explique la chercheuse qui mène un travail d'enquête à travers les archives pour recueillir toutes les influences sonores.

En 2013, Brian FG Katz avait déjà réalisé des mesures acoustiques sur place. *« Nous avons ensuite mis au point un modèle numérique calibré à partir de ces mesures »*, indique-t-il. Dans ce modèle virtuel de l'acoustique de Notre-Dame, on peut ensuite *« injecter différentes pistes, comme un concert, ou même "appliquer" une époque grâce au travail de Mylène Pardoen »*, précise-t-il. Prochain objectif : effectuer des mesures avant et pendant les travaux, pour aider à estimer l'impact de ceux-ci sur l'acoustique de la cathédrale. *« Nous pourrons par exemple savoir si les travaux influent sur la résonance de l'orgue et, dans ce cas, conseiller les architectes en fonction »*, ajoute Mylène Pardoen. *« Mais si, avec les travaux, on souhaite restaurer l'acoustique de Notre-Dame, quelle époque devrons-nous cibler ? »*, demande Brian FG Katz. Car, en fonction des siècles, le positionnement et les matériaux des rideaux, des tapis, des meubles influent grandement sur le son. Le fruit de l'ensemble de ces recherches profitera également au grand public, privé de visite pendant la restauration. *« Nous voudrions projeter des concerts dans le modèle acoustique de Notre-Dame, voire faire des live virtuels grâce aux technologies de la réalité virtuelle auditive 3D »*, espère Brian FG Katz. **II L.G.**

Voir la vidéo sur **https://insis.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/recreer-lacoustique-de-notre-dame-de-paris**

Reconstitution virtuelle de la cathédrale utilisée pour l'étude de l'acoustique.

© GHOST ORCHESTRA/CNRS

1. Unité CNRS/Sorbonne Université. 2. Unité CNRS/ENS de Lyon/Univ. Jean-Moulin Lyon-3/Sciences-Po Lyon/Univ. Lumière Lyon-2/Univ. Jean-Monnet Saint-Étienne/Univ. Claude-Bernard Lyon-1.

> *"Les impuretés du métal permettent de retracer l'origine géographique des minerais de l'époque."*

Et son expertise scientifique n'est pas des plus faciles. *« Il y a très peu d'études archéologique et analytique sur le plomb, car le problème est qu'il se fond et se refond, donc il est théoriquement impossible à dater, contrairement au fer dont le recyclage laisse toujours des microsoudures internes »*, précise Maxime L'Héritier.

ISOTOPES
Atomes ayant le même nombre de protons et un nombre de neutrons différent, par exemple le carbone (6 protons, 6 neutrons) et le carbone 14 (6 protons, 8 neutrons).

Le plomb en attente d'une signature chimique

Le groupe de recherche veut donc mettre en place un référentiel chimique, avec comme point d'appui les isotopes les plus stables du plomb. *« Cela pourra permettre de remonter, on l'espère, aux minerais de plomb utilisés. Mais surtout, en regardant la signature isotopique du plomb, nous pourrons comprendre les mélanges de sources de plomb, les recyclages jusqu'au XIXe siècle »*, précise Maxime L'Héritier. *« Mettre en place un référentiel chimique du plomb va aussi permettre d'alimenter les questions sur la contamination au plomb »*, espère le chercheur. Actuellement, le taux de poussière de plomb et d'oxyde de plomb est quantifié dans l'air et dans l'eau, pour s'assurer notamment de la sécurité du chantier.

« Une fois que nous connaîtrons la signature géochimique du plomb de Notre-Dame, nous pourrons comparer ce plomb avec celui retrouvé chez les Parisiens ou dans l'environnement, pour être sûrs qu'il vient bien de la cathédrale et non d'autres sources, comme les canalisations », avance Maxime L'Héritier. Le chercheur espère ainsi pouvoir contribuer à cette réflexion de santé publique, alors que la polémique n'est toujours pas éteinte, malgré les travaux de décontamination menés cet été dans les bâtiments alentour et sur le chantier lui-même. Selon lui, restaurer la couverture en plomb à l'identique a du sens, *« à condition d'évaluer l'impact environnemental »*. **II L.G.**

4. Unité CNRS/Univ. Panthéon-Sorbonne/Univ. Paris-Nanterre/Ministère de la Culture. 5. Il s'agit d'une collaboration entre l'Institut de recherche sur les archéomatériaux (*Ibid.* 1, p. 15), le Laboratoire archéomatériaux et prévision de l'altération (*Ibid.* 2, p. 15), l'Université Paris-8 et ARTEMIS-LMC 14. 6. *Ibid.* 1, p. 15. 7. *Ibid.* 2, p. 15.

Enquête au milieu des décombres

Pas un débris ne devra échapper à l'inventaire. Nous avons suivi les scientifiques qui veulent faire parler le bois et veillent au déblaiement des poutres, au diapason avec les cordistes et au milieu des minipelleteuses...

© S. DE SAKUTIN/POOL/AFP

Elle n'en perd pas une miette. Vêtue d'un impressionnant attirail – casque de chantier, masque avec assistance respiratoire, combinaison blanche intégrale –, elle surveille de près chacun des mouvements de la pelleteuse qui, délicatement, extrait les poutres calcinées du gigantesque mikado de gravats gisant dans la nef de Notre-Dame de Paris.

11 juillet, 9 heures. Comme presque tous les jours depuis près de trois mois, Catherine Lavier, spécialiste d'archéologie du bois au Centre de recherche et de restauration des musées de France, travaille dans ce décor postapocalyptique avec un objectif : récupérer le plus de matériau possible de cet invraisemblable fatras. *« Après l'incendie, on s'est empressé de dire qu'il ne fallait surtout rien jeter : toutes ces poutres, ce ne sont rien de moins que des livres ouverts sur le Moyen Âge ! »*, insiste-t-elle en agrafant une étiquette sur le tronc noir que Pierre Marinier, le conducteur de la pelleteuse, vient de déposer à ses pieds. *« Les arbres enregistrent tout, le moindre stress est révélateur d'un événement,* explique-t-elle. *En analysant des troncs anciens, on peut déduire une foule d'informations sur les conditions de croissance et la provenance des bois par exemple. »*

À 15 mètres au-dessus du mikado noir

Jusqu'à présent, seules quelques carottes de bois avaient été prélevées sur la charpente huit fois centenaire à des fins d'analyses. *« On ne disposait alors que d'une information parcellaire. Là, on devrait travailler sur des poutres quasi entières »*, explique Alexa Dufraisse, dendro-anthracologue au laboratoire Archéozoologie, archéobotanique : sociétés, pratiques et environnements[1], et coordinatrice du groupe de travail ministère de la Culture/CNRS Bois et charpente de Notre-Dame. En ce mois de juillet, elle n'a pas encore accès à la cathédrale, et attend avec impatience d'en recevoir les débris. Même les plus carbonisés d'entre eux. Car sa spécialité, c'est justement de « lire » dans le bois brûlé. *« Grâce à un spectromètre Raman, nous obtiendrons la répartition du carbone dans les différentes molécules qui composent le bois (cellulose, lignine, etc.). Comme celle-ci se modifie en fonction de la carbonisation, cela nous permettra d'en évaluer l'intensité. Ensuite, nous comparerons ces échantillons à des modèles de bois que nous avons brûlés en laboratoire et dont nous connaissons les propriétés. »*

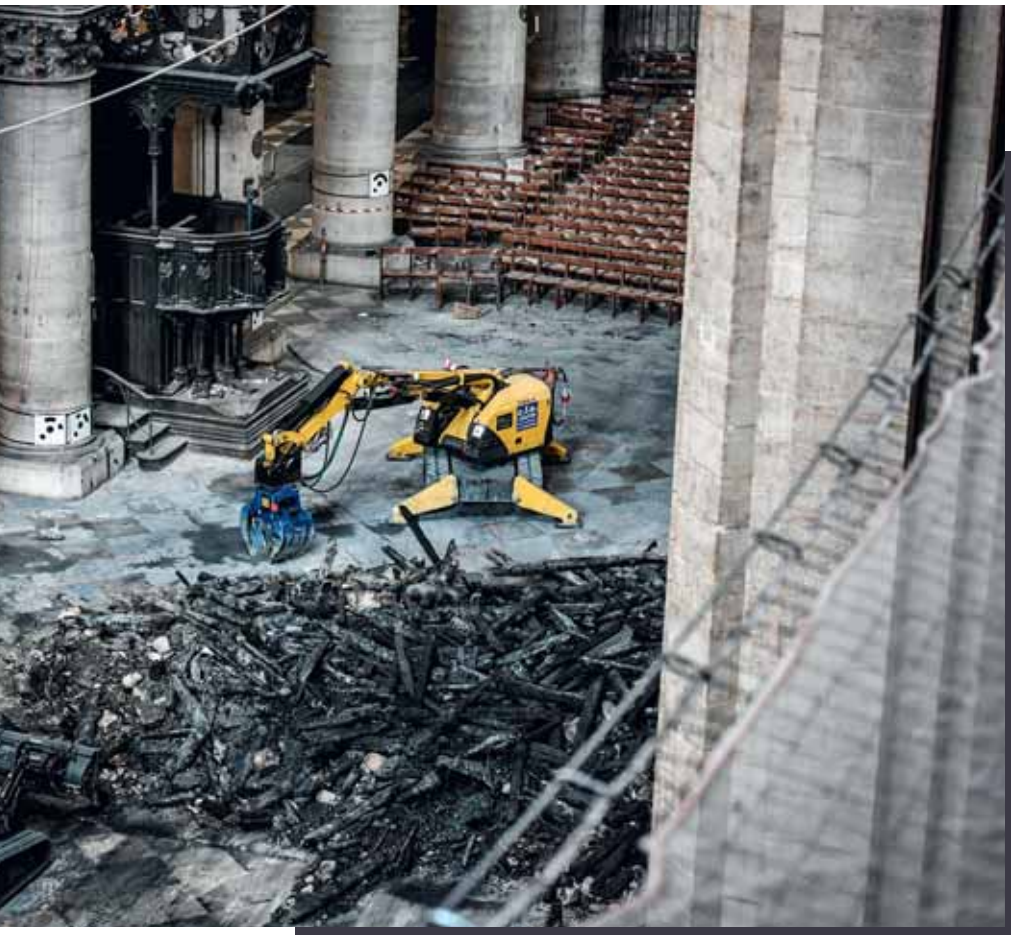
« Je vais prendre celle-là ! » Pour se faire entendre dans ce vacarme – bruit de sa pelleteuse, du robot qui aspire la poussière que les pigeons n'ont de cesse de faire tomber au sol –, Pierre Marinier hurle à travers son masque. Il ne collecte pas les débris au hasard mais en accord avec Priscilla Debouige, technicienne à l'Institut national de recherches archéologiques préventives. Sur la photographie de la nef vue de haut, qui apparaît sur sa tablette, elle repère chaque pièce collectée par la machine et, sur l'écran, lui attribue un numéro.

> *“Depuis l'incendie, quelque 3000 fragments ont été extraits des décombres, étiquetés et rangés. Dont 16 en deux heures, ce matin-là.”*

Pour l'heure, les chercheurs ne font rien d'autre que reconstituer un gigantesque puzzle : *« Nous n'en sommes qu'à la phase de préinventaire*[2]*,* insiste Catherine Lavier. *Il s'agit de comprendre quelle pièce est tombée d'où, de tout numéroter avant de tout ranger dans les barnums »*, sortes de tentes installées sur le parvis. Puis viendra l'étape de l'inventaire : *« Nous reprendrons toutes ces pièces, une par une, pour les mesurer, décrire ce que l'on voit à l'œil. »* Depuis l'incendie, quelque 3 000 fragments ont ainsi été extraits des décombres, étiquetés et rangés. Dont 16 en deux heures, ce matin-là.

« Dégagez la zone ! » À 15 mètres au-dessus du mikado noir et des travailleurs en blanc, l'équipe des cordistes tend un filet au-dessus de la nef pour empêcher

SPECTROMÈTRE RAMAN
Appareil permettant de caractériser la composition moléculaire d'un échantillon en mesurant des modifications de la fréquence de la lumière qui les traverse.



Déblaiement des poutres dans la cathédrale.

Banc de dendrochronologie sur lequel Alexa Dufraisse analyse un morceau « témoin » de bois calciné pour comparer ses propriétés à celles des échantillons de la charpente.

© C. FRÉSILLON/AASPE/CNRS PHOTOTHÈQUE

d'éventuelles chutes d'objets. Et rien, pas même les morceaux les plus inaccessibles, ne devra échapper à l'inventaire. *« Ce premier travail va prendre des mois !* assure Catherine Lavier, présente au déblaiement du moindre débris. *Après seulement, nous pourrons envoyer des échantillons à divers labos. »*

Plongée médiévale

Alexa Dufraisse a une idée précise de ce qu'elle fera de ce trésor : *« Nous découperons des troncs en rondelles, que nous passerons sur un banc dendrochronologique, une machine qui permet d'observer les cernes d'un arbre afin d'en déduire sa croissance, sa date d'abattage, son âge* (sans doute plus jeune que ce que l'on pensait, NDLR, lire encadré p. 18). » La chercheuse et ses confrères[3] comptent aussi découvrir la composition du sol qui a vu grandir ces arbres et donc retrouver leur provenance. Pour ce faire, ils utiliseront un Itrax Multiscanner[4]. *« Nous mesurerons notamment les teneurs en calcium, manganèse, aluminium, particulièrement révélatrices de la nature d'un substrat. La logique voudrait que les arbres proviennent du bassin parisien, mais nous aurons peut-être des surprises ! »* Alexa Dufraisse, Catherine Lavier et leurs collègues[5] attendent aussi que ces reliques racontent le climat. Car Notre-Dame a été bâtie en partie lors de l'optimum climatique médiéval (entre le IXe et le XIIe siècle), période de fort réchauffement climatique. À quel point faisait-il chaud et sec ? *« Le spectromètre de masse à rapport isotopique nous le dira,* répond Alexa Dufraisse. *Grâce à lui, nous mesurerons les rapports carbone 13 (^{13}C) sur carbone et oxygène 18 (^{18}O)*[6] *sur oxygène, le ^{13}C et ^{18}O étant davantage assimilés par la plante quand il fait respectivement sec et chaud. »*

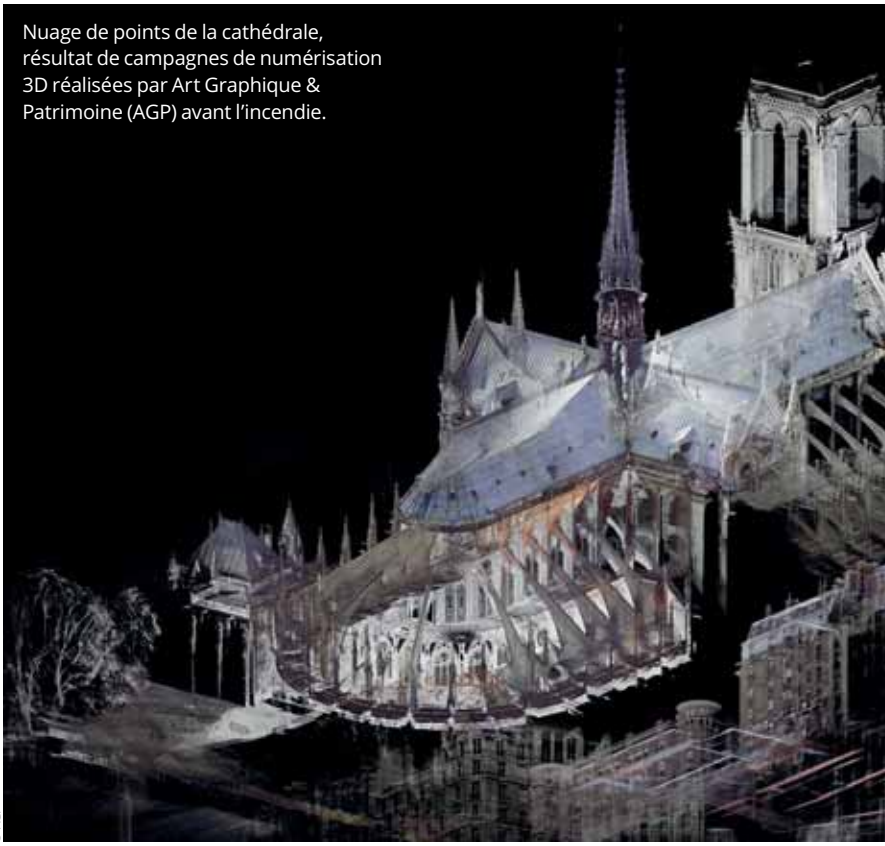
11 heures, Pierre Marinier coupe le moteur de sa pelleteuse, le vacarme se tait dans la cathédrale : c'est l'heure de la pause obligatoire. Catherine Lavier en profite pour jeter un œil aux échantillons entreposés sur le parvis. Non sans avoir pris auparavant une douche, encore chaussée et vêtue de sa combinaison, afin de se débarrasser d'un maximum de particules de plomb. *« Je n'ai pas encore tout vu,* dit-elle en scannant du regard les rangées de troncs noirs. *C'est une véritable mine, du matériau rare qui va alimenter les chercheurs du monde entier pendant des années… »* Son talkie-walkie grésille : *« Catherine, on y retourne ! »* Elle court vers la cathédrale. Il n'y a pas une minute, pas une miette à perdre. **II L.M.**

ITRAX MULTISCANNER
Instrument combinant la fluorescence X, la spectroscopie magnétique et la radiographie X et permettant de mesurer la concentration chimique des éléments.

1. Unité CNRS/MNHN. 2. Ce préinventaire est réalisé avec Rémi Fromont, architecte en chef des Monuments historiques, qui avait réalisé un relevé de la charpente en 2014. 3. Notamment Stéphane Ponton, dendrochimiste à l'Inra. 4. Instrument de l'unité Silva, à Nancy. 5. Notamment Valérie Daux, dendroclimatologue au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CNRS/CEA/Univ. de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines). 6. Le carbone 13 est un isotope (lire définition p. 21) du carbone ; l'oxygène 18, un isotope de l'oxygène.

Notre-Dame et son double numérique

Créer une sorte de Google Earth de la cathédrale de Paris, tel est l'ambitieux projet d'une équipe de chercheurs. Objectif : regrouper au sein d'une plateforme collaborative la totalité des connaissances passées et à venir sur l'édifice. Explications.



Nuage de points de la cathédrale, résultat de campagnes de numérisation 3D réalisées par Art Graphique & Patrimoine (AGP) avant l'incendie.

© AGP

« *La restauration de Notre-Dame de Paris sera un chantier historique.* » Et Livio de Luca, directeur du laboratoire Modèles et simulations pour l'architecture et le patrimoine (MAP)[1], et lauréat 2019 de la médaille de l'innovation (lire p. 10), ne souhaite pas que cette histoire se perde à nouveau dans les flammes. « *Nous allons créer un système d'information intégrant toutes les données scientifiques et techniques sur la cathédrale* », explique-t-il.

Le groupe de travail qu'il coordonne s'apprête ainsi à en réaliser une sorte de « double numérique » rassemblant tout ce que l'on sait de l'édifice, des croquis de construction jusqu'au relevé 3D de son état actuel, et qui sera capable d'intégrer toute information à venir. En fait d'une simple réplique en images de synthèse, il s'agit plutôt de construire une base de données et de connaissances inédite. « *Grâce à elle,* poursuit-il, *les différentes équipes du chantier pourront partager leur expertise et prendre* in fine *de meilleures décisions.* »

Réunir les coordonnées 3D

Concrètement, les différents corps de métier et les équipes scientifiques de toutes disciplines disposeront d'une interface à la manière de « Google Earth »[2] entièrement dédiée à Notre-Dame. « *En plus de la dimension spatiale permettant d'interroger les moindres recoins de la cathédrale, les utilisateurs auront aussi accès à tout son historique* », précise-t-il. Comme si Google Earth permettait de visualiser l'évolution d'une ville au fil des siècles… « *Notre système offrira ainsi différentes échelles d'observation au fil du temps : il pourra s'agir de photographies, informant sur l'apparence des structures à un moment donné, comme de résultats d'analyses (physico-chimiques notamment) ponctuelles et très localisées, ou encore de numérisations 3D, complètes ou partielles, de la cathédrale* », souligne-t-il. « *Au final, on pourra par exemple cliquer sur une zone de la charpente et en obtenir toutes les informations connues : les datations dendrochonologiques précédentes, les analyses à venir sur les restes carbonisés, les données 3D d'un relevé numérique, etc.* »

Pour ce faire, il faudra notamment réunir les dizaines de milliards de coordonnées 3D, nuages de points décrivant les moindres détails de la surface, déjà mesurés lors de différentes campagnes de numérisation. Le maillage le plus complet de l'édifice avant incendie, riche d'un milliard de points, a été réalisé en 2010 par l'historien américain Andrew Tallon à l'aide d'un laser. En 2014, une cartographie 3D, combinant des scan-lasers et de la photogrammétrie, a également été effectuée par la

PHOTOGRAMMÉTRIE
Technique permettant de déterminer dimensions et volumes des objets à partir de mesures effectuées sur des photos les montrant sous différentes perspectives.

> *« L'un des défis du projet : relier tous ces documents entre eux, dans le temps, l'espace et sur le plan sémantique. »*

FÉDÉRER LES DONNÉES
Traitement permettant de rassembler plusieurs banques de données hétérogènes via un modèle commun aux yeux de l'utilisateur.

société Art Graphique et Patrimoine (AGP) pour capturer l'intégralité de la charpente, l'emblématique « forêt » ravagée en avril. La plus récente est celle réalisée juste après l'incendie, également par AGP.

Enfin, d'autres données 3D sont également en cours d'intégration à partir d'une collecte participative de photos lancée par la start-up Iconem. *« Toutes les données seront utiles, y compris des photos de touristes, même si elles ne sont pas toutes utilisées de la même manière »*, insiste Livio de Luca qui espère finaliser rapidement les multiples conventions de partage des données avec l'ensemble des organismes privés et publics ainsi que leur archivage pérenne (notamment grâce aux consortiums 3D SHS[3] et MASA de la TGIR HumaNum[4]).

Rassembler ces données au sein d'une même « arche numérique » est un enjeu historique. Véritable archive de pierre, de bois et de vitraux, Notre-Dame illustre les savoir-faire qui se sont succédé sous ses voûtes ou au pied de ses tours depuis huit cent cinquante ans. Chacun des choix architecturaux de sa construction se lit dans la courbe singulière et subtile de ses piliers, là dans les élégantes proportions des travées, ici dans la courbure des voussures, ou là encore dans le contour sidérant des rosaces… Connaître et conserver ces innovations techniques et architecturales, c'est pouvoir à tout moment faire renaître la magie d'un tel lieu, quand bien même le feu ou la lente érosion des siècles l'a effacée à nos yeux.

La totalité de la « forêt » avait aussi été capturée par AGP pour un total de 3 à 5 milliards de points, soit environ 1 à 2 points par millimètre carré…

© AGP

Dompter les données

L'ambition du logiciel (dont une partie sera accessible au grand public) est donc avant tout de fédérer les données au sein d'une même base. Et c'est bien là l'un des défis majeurs du projet : ne pas se cantonner à un simple dépôt numérique mais *« relier tous ces documents entre eux, à la fois dans le temps, dans l'espace et sur le plan sémantique »*, souligne Livio de Luca. Des listes de mots-clés, « étiquettes » ultra-précises, permettront notamment d'établir une taxonomie de la totalité des concepts (matériaux, techniques de construction, motifs architecturaux, etc.) afin, par exemple, de trouver instantanément des correspondances entre un type d'usure de la pierre et celle de tel arc ou telle rosace construite selon telle technique, et ce au fil des époques. De quoi faciliter les analyses rétrospectives qui seraient impossibles autrement. Et, pourquoi pas, générer des modèles en vue de prévenir d'éventuels risques structurels de l'édifice. Pour bâtir tous les aspects de cette application, l'équipe du MAP peut s'appuyer sur son expérience unique forgée sur de nombreux projets de documentation numérique du patrimoine architectural. Ces briques logiciels serviront de piliers et devraient faciliter la gestion, l'annotation et la visualisation 4D (spatiale et temporelle) de cette masse de données[5].

Surtout, Livio de Luca souhaite que cette plateforme collaborative permette de *« mémoriser les processus d'analyse et d'interprétation conduits par toutes les personnes impliquées dans ce vaste chantier. »* Cela pourrait permettre de réaliser une documentation des modes d'intervention sur la cathédrale et, à l'avenir, de mieux coordonner les efforts de restauration. Et d'un point de vue anthropologique, cette documentation inédite devrait offrir aux chercheurs un matériau précieux pour comprendre la manière dont les scientifiques et les professionnels s'organisent pour étudier et préserver le patrimoine architectural. Un chantier numérique littéralement historique s'ouvre donc avec celui de la restauration de Notre-Dame de Paris. **J.-B.V.**

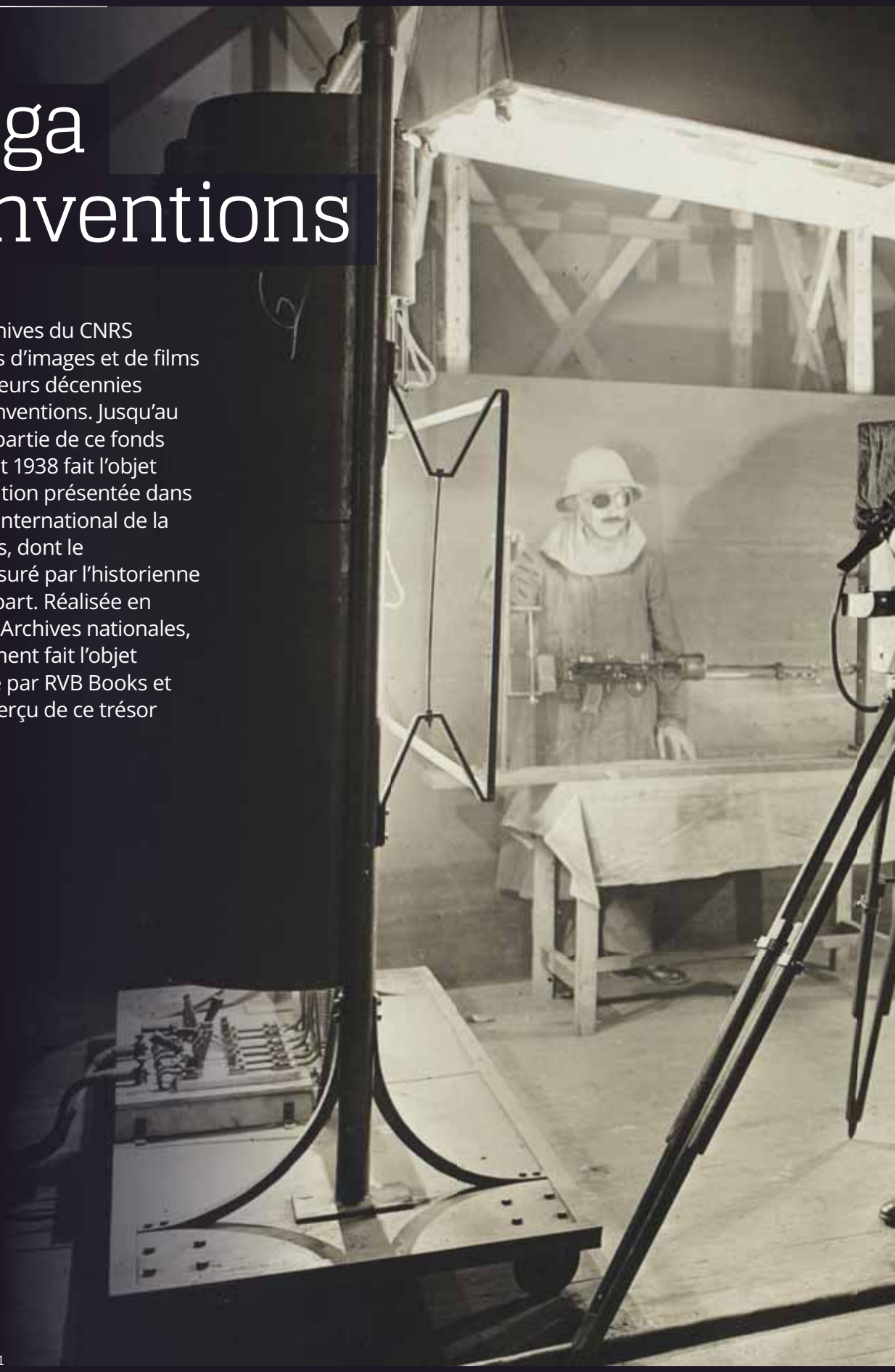
1. Unité CNRS/Ministère de la Culture. 2. Application permettant d'explorer la Terre. 3. Unité CNRS/Huma-NUM/Archéovision. 4. Unité CNRS/Aix-Marseille Univ./Campus Condorcet Paris-Aubervilliers. 5. Voir la vidéo https://www.dailymotion.com/video/x6yhyfk sur Aïoli, plateforme d'annotation 3D des monuments et des œuvres d'art, réalisé par le MAP.

La saga des inventions

SOCIÉTÉS

Patrimoine. Les archives du CNRS regorgent de milliers d'images et de films témoignant de plusieurs décennies de recherches et d'inventions. Jusqu'au 22 septembre, une partie de ce fonds produit entre 1915 et 1938 fait l'objet d'une grande exposition présentée dans le cadre du Festival international de la photographie d'Arles, dont le commissariat est assuré par l'historienne de la photo Luce Lebart. Réalisée en partenariat avec les Archives nationales, l'exposition a également fait l'objet d'un beau livre édité par RVB Books et le CNRS. Voici un aperçu de ce trésor iconographique.

TEXTE LUCE LEBART



1. Intitulée Le Théâtre de la prise, cette photographie réalisée en 1918 met en scène le réalisateur Alfred Machin, opérateur photo et cinéma de la Direction des inventions .

© ARCH NAT. 1918. 398AP/61.

2

© ARCH. NAT. 1918. 398AP/38

2. Avant l'invention du radar, le télé-sitemètre de Jean Perrin, futur Prix Nobel et fondateur du CNRS, composé de plusieurs myriaphones, est un appareil de détection sonore utilisé pour le repérage des avions ennemis (1918).

3

© FONDS HISTORIQUE/CNRS PHOTOTHÈQUE

3. Ces cornets acoustiques s'inspirent de ceux élaborés pendant la Première Guerre mondiale. Entre-temps, les recherches sur le radar ont rendu ces « grandes oreilles » obsolètes et aux limites du fantasque (1935).

4. Ce dispositif inventé par Jean Perrin ressemble à un stéthoscope géant. Il est en réalité adapté à la détection des sons souterrains, tels ceux des galeries de mines (1917).

4

© 28 JANVIER 1917, ARCH. NAT. 398AP/38

5

© FONDS HISTORIQUE/CNRS PHOTOTHÈQUE

5. Dans les années 1920, la sécurité routière devient un enjeu primordial. L'anti-écrase personne est l'un des dispositifs proposés afin d'augmenter la protection des piétons (1924).

6. Le flotteur du laboratoire d'aéronautique de l'Office national de recherche scientifique et industrielle et des inventions (ONRSII) permet de nager tout en garantissant une bonne stabilité grâce à la répartition des flotteurs. Son coût de production fut cependant dissuasif (1938).

7

© C. HEIN

7. La plus petite des machines à laver proposée par Jules-Louis Breton, directeur de l'ONRSII, est mixte et sert pour le linge et la vaisselle. Elle est aussi entièrement mécanique et facilement transportable (1925).

6

© FONDS HISTORIQUE/CNRS PHOTOTHÈQUE

La saga des inventions. Du masque à gaz à la machine à laver, les archives du CNRS
Exposition coproduite par le CNRS et le festival Les Rencontres d'Arles, en partenariat avec les Archives nationales.
Espace Croisière, à Arles, jusqu'au 22 septembre. 10 heures–19 h 30
www.rencontres-arles.com/fr/expositions/view/780/la-saga-des-inventions

Inventions 1915-1938, *chez RVB Books et sur* **https://rvb-books.com**

L'histoire de ces photos est racontée sur le blog « La saga des inventions » de CNRS Le journal : **https://lejournal.cnrs.fr/sagadesinventions**

Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

ENVIRONNEMENT

Ces chercheurs qui ont choisi la France

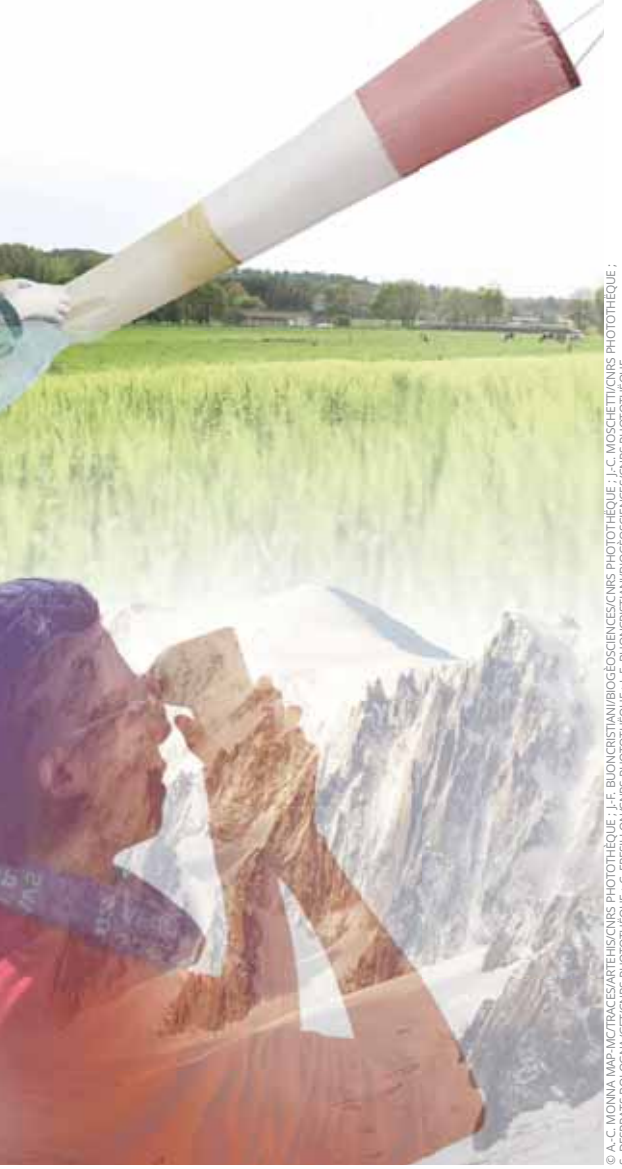
Climat. Coup de projecteur sur le programme Make our planet great again, lancé en juin 2017 par le président Emmanuel Macron et dont la première conférence se tiendra le 1er octobre, à Paris.

PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

« *We are getting out* » (« Nous sortons »). Prononcée le 1er juin 2017 par Donald Trump, cette phrase d'apparence anodine a provoqué une onde de choc mondiale. C'est que le chef de l'exécutif américain signifiait par là le retrait des États-Unis de l'Accord de Paris sur le climat, texte historique signé fin 2015 dans la capitale française par 194 autres pays et ambitionnant de contenir le réchauffement de la planète *« bien en deçà de 2 °C »* par rapport à l'ère préindustrielle. D'où la décision prise aussitôt par le président de la République Emmanuel Macron d'inviter *« tous les scientifiques, ingénieurs, entrepreneurs, citoyens engagés »* déçus – voire pénalisés – par la volte-face du locataire de la Maison Blanche à venir (ou revenir) travailler en France *« sur des solutions concrètes pour le climat »*.

« *L'urgence climatique pose des défis uniques pour la science,* rappelle Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, à la veille de la première conférence sur le programme Make our planet great again (Mopga)[1] qui se tiendra le 1er octobre au musée du Quai Branly, à Paris, en présence des ministres française et allemande de la Recherche. *Des solutions d'adaptations et/ou d'atténuations doivent reposer sur les meilleures données scientifiques disponibles. C'est avec l'objectif de produire et d'appliquer ces connaissances que le président de la République a demandé la mise en place d'un appel à projet international qui offre à toute chercheuse ou chercheur résidant à l'étranger depuis au moins deux ans la possibilité de mener des recherches*

1. « Rendons sa grandeur à notre planète », paraphrase du slogan de Donald Trump « Make America great again » (« Rendons sa grandeur à l'Amérique »).
2. Unité CNRS/Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique (Cerfacs).



© A.-C. MONNA MAP-MC/TRACES/ARTEHIS/CNRS PHOTOTHÈQUE ; J.-F. BUONCRISTIANI/BIOGÉOSCIENCES/CNRS PHOTOTHÈQUE ; J.-C. MOSCHETTI/CNRS PHOTOTHÈQUE ; S. DESPRATS BOLOGNA/GET/CNRS PHOTOTHÈQUE ; C. FRESILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE ; J.-F. BUONCRISTIANI/BIOGÉOSCIENCES/CNRS PHOTOTHÈQUE

innovantes sur la question des changements globaux, y compris climatiques, dans des laboratoires français », explique-t-il.

60 millions d'euros de budget

Axé sur la compréhension des mécanismes physiques, chimiques, biologiques…, régissant la « machine Terre », la problématique du développement durable et la transition énergétique, le programme Mopga est doté d'un budget de 60 millions d'euros. Une moitié de cette enveloppe est assurée par le secrétariat général pour l'investissement (SGPI) et gérée par l'Agence nationale de la recherche (ANR), l'autre par les établissements d'accueil.

« Chaque euro apporté par ces derniers ne l'est pas nécessairement en "cash", précise Antoine Petit. *L'apport peut très bien se faire en "in kind", c'est-à-dire en valorisant à sa juste mesure l'environnement humain et technologique (possibilité d'utiliser des instruments de pointe, accès à des plateformes…) dans lequel évolue le lauréat. Et il est important de souligner qu'à la mobilisation de l'ANR et des laboratoires s'ajoute celle des partenaires régionaux, ce qui reflète la motivation de l'ensemble des acteurs concernés par le projet. »*

S'agissant de la sélection des candidats, juniors (c'est-à-dire ayant obtenu leur doctorat il y a douze ans au plus) comme seniors (titulaires d'une thèse depuis plus de douze ans), la procédure retenue s'est déroulée en deux temps, que ce soit en 2017 ou en 2018.

Une première phase, pilotée par le CNRS au nom de l'ensemble des organismes français de recherche, a permis de jauger les postulants sur la qualité de leur CV. Une seconde, supervisée par l'ANR, a vu un jury international évaluer les projets des candidats présélectionnés par le CNRS et montés par les chercheurs avec les équipes des laboratoires qu'ils souhaitaient rejoindre. …

Benjamin Sanderson

NATIONALITÉ : britannique
ÂGE : 37 ans
INSTITUTION D'ORIGINE : National Center for Atmospheric Research (États-Unis)
LABORATOIRE D'ACCUEIL : laboratoire Climat, environnement, couplage et incertitudes[2]

DR

Quitter le Colorado ? Une décision *« difficile à prendre »,* de son propre aveu, mais dictée par l'urgence de la situation et les promesses du projet Mopga. *« J'ai candidaté à ce programme parce qu'il présente le changement climatique non comme un simple problème universitaire, mais comme un des enjeux les plus importants auxquels doit faire face notre société,* explique le climatologue Benjamin Sanderson. *De plus, cette initiative me laisse espérer que les conclusions de mes travaux seront prises en compte par les décideurs politiques. »* Si son emploi n'était pas directement menacé aux États-Unis, *« il est toutefois devenu moins simple d'y travailler librement en raison des contraintes budgétaires qui pèsent sur les recherches en rapport avec les émissions de gaz à effet de serre et la décarbonisation de l'économie »,* poursuit-il. À tire plus personnel, réduire son empreinte carbone en traversant moins souvent l'Atlantique pour rendre visite aux membres de sa famille installés sur le Vieux Continent a pesé dans son choix. Conduites au sein du Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique, à Toulouse, ses recherches continuent de graviter autour des incertitudes propres aux modèles climatiques, du degré de confiance à accorder aux résultats des simulations ainsi qu'à la meilleure façon de présenter aux populations les conséquences du réchauffement (inondations, vagues de chaleur dans les zones urbaines, mauvaises récoltes…). Et *« au lieu d'utiliser un seul modèle, comme jusqu'ici, je vais en associer plusieurs afin de réduire l'incertitude sur les résultats, ce qui va me conduire à nouer de nombreux contacts en France et en Europe »,* précise-t-il.

© T. VERGOZ/IGE/LGP/PRESHINE/IRD/CNRS PHOTOTHÈQUE

... Ce jury est présidé par Corinne Le Quéré, professeure en science du changement climatique à l'Université d'East Anglia, au Royaume-Uni, et à la tête du Haut Conseil pour le climat depuis novembre 2018. Composé de neuf ou dix membres, selon les années, ce jury interdisciplinaire comprenait des climatologues français et finlandais, un chimiste et un biologiste américain, un économiste suisse et un spécialiste japonais de la durabilité.

La répartition du financement

« Les dossiers que nous avons eus à examiner la première année (2017) étaient plutôt portés vers les sciences naturelles du système terrestre, avec relativement peu de projets portant sur les sciences humaines et sociales et sur les enjeux associés au développement durable et à la transition énergétique, mais la tendance s'est inversée en 2018, observe Corinne Le Quéré. *Globalement, les dossiers étaient de très haut niveau. Toute la difficulté a été de répartir le financement entre de très bons projets seniors et des projets juniors très prometteurs. Par ailleurs, certaines propositions intéressantes, mais ayant besoin d'être renforcées, ont été retravaillées selon nos recommandations, soumises de nouveau au jury et finalement validées, ce qui est très satisfaisant. »*

Que l'appel d'offres de la France ait suscité l'attrait de la communauté savante hors des frontières, les chiffres le prouvent. Lors du lancement du programme sur le site Internet Make our planet great again, géré par l'agence publique Campus France, plus de 11 000 clics et demandes de contacts provenant d'étudiants et de chercheurs d'une centaine de pays, d'entreprises, d'ONG..., ont été enregistrés. Parmi les chercheurs, plus de 400 ont manifesté de l'intérêt pour des séjours de longue durée. Au total, 340 ont fait acte de candidature et 43 ont été retenus par le jury (lire encadré p. 35). *« Le CNRS est de loin l'organisme de recherche le plus impliqué dans le programme Mopga puisque nous portons 21 des 43 projets retenus »,* indique Antoine Petit, tout en soulignant que 40 des 43 projets sont réalisés dans des unités mixtes de recherche du CNRS, donc avec d'autres établissements.

L'attrait du CNRS

Le rôle dévolu au vaisseau amiral de la recherche française n'a rien d'étonnant sachant que *« la qualité de ses travaux en matière de changements globaux, dont le changement*

Lorie Hamelin

NATIONALITÉ : canadienne
ÂGE : 37 ans
INSTITUTION D'ORIGINE : Institute of Soil Science and Plant Cultivation (Pologne)
LABORATOIRE D'ACCUEIL : Toulouse Biotechnology Institute[3] (TBI ex-LISBP)

DR

***« Un mélange de motifs personnels et professionnels. »* Ainsi la chercheuse canadienne Lorie Hamelin justifie-t-elle son choix de répondre par la positive à l'invitation du président Emmanuel Macron alors qu'elle était en poste en Pologne. *« Avec mon conjoint français, lui aussi scientifique, nous envisagions de venir nous installer en France,* détaille-t-elle. *L'appel Mopga est donc arrivé au bon moment. Surtout, l'ambition de ce programme et l'ampleur des moyens alloués aux lauréats (jusqu'à 1 million d'euros pour les chercheurs juniors comme moi, et 1,5 million pour les seniors) ont achevé de me convaincre. Très rares, en effet, sont les appels à projet qui offrent la chance de pouvoir bâtir sa propre recherche et sa propre équipe en toute liberté »,* quand bien même les salaires en France sont *« différents »* et les lenteurs de l'administration *« un peu usantes »*. Conduit au sein du TBI et intitulé CambioSCOP[4], le projet pensé et piloté par cette originaire de Victoriaville (comté d'Arthabaska) se donne pour ambition, cinq ans durant, de forger des solutions innovantes pour augmenter le stockage du dioxyde de carbone dans les sols et booster la conversion de la biomasse (paille, résidus forestiers, biodéchets ménagers, lisier, fumier, algues...) en hydrocarbures, protéines, biomatériaux... À terme, *« des stratégies bioéconomiques sur mesure pourront être proposées aux acteurs économiques et aux décideurs politiques, ce qui accélérera la progression de la France sur le chemin de l'après-carbone d'origine fossile »,* promet Lorie Hamelin.**

3. Unité CNRS/Inra/Insa Toulouse. 4. Pour Carbon Management and BIOresources strategies for SCOPing the transition towards low fossil carbon.
5. Unité CNRS/Univ.Paris-Diderot/Univ. Paris-Est Créteil Val-de-Marne. 6. Unité CNRS/CEA/Univ. Versailles Saint-Quentin.

climatique, est reconnue internationalement », renchérit Stéphanie Thiébault, directrice de l'Institut écologie et environnement du CNRS. De fait, dans la catégorie « Science de l'environnement et du système Terre » de l'Index 2019 de la revue *Nature,* le CNRS occupe le 3e rang mondial, juste derrière l'Académie des sciences chinoise et les centres de recherche de l'Association Helmholtz en Allemagne. *« L'attractivité de nos laboratoires est très forte, ce qui explique qu'une grande partie des lauréats ait voulu les intégrer »,* commente Stéphanie Thiébault.

Une logique gagnant-gagnant

S'habituer aux us et coutumes français, en particulier aux arcanes de l'administration tricolore, a-t-il posé des problèmes aux heureux élus ? *« À notre connaissance, l'ensemble des établissements a fait le maximum pour aider les lauréats à monter des dossiers administratifs souvent complexes,* assure Antoine Petit. *Pour ce qui nous concerne, deux chargées de mission les ont accompagnés dans leurs démarches : une au bureau du CNRS à Washington, l'autre à la Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires, à Paris. »*

Surtout, le projet Mopga repose sur une logique gagnant-gagnant, les grandes pointures de la science choisies pour la qualité de leur CV et l'originalité de leur projet trouvent un environnement stimulant dans les structures de renommée internationale qui les accueillent, et celles-ci tirent une plus-value scientifique de ces nouveaux venus.

« Quelqu'un comme le chimiste américain Christopher Cantrell, qui a rejoint le Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques[5] *en mars 2018 pour cinq ans afin d'y étudier les impacts climatique et sanitaire à grande échelle de la pollution, apporte non seulement ses idées, son expérience, sa méthodologie..., mais aussi ses liens avec d'autres laboratoires internationaux et ses réseaux de financement. C'est donc un apport durable »,* explique Nicolas Arnaud, directeur de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS. L'arrivée d'un chercheur de la stature de Venkatramani Balaji, dont les travaux sont en passe de révolutionner les méthodes de modélisation du climat, *« ouvre de nouvelles fenêtres à nos recherches et renforce notre visibilité. Le salaire est loin d'être la motivation première des Mopga. C'est l'intérêt du programme et l'excellence des laboratoires qui les ont convaincus. Par ailleurs, certains ont clairement saisi cette opportunité pour revenir travailler en France »,* renchérit Elsa Cortijo, directrice du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement[6] de Saclay, lequel accueille, outre ce chercheur canadien d'origine ...

DR

Valéry Ridde

NATIONALITÉ : franco-canadienne
ÂGE : 50 ans
UNIVERSITÉ D'ORIGINE : Université de Montréal (Canada)
ORGANISME D'ACCUEIL : Centre population et développement

Que les déplacements de populations, internes comme transfrontaliers, s'intensifient dans un proche avenir à cause des catastrophes météorologiques (tempêtes, inondations, sécheresses...) et des perturbations environnementales (dégradation des sols, hausse du niveau marin, fonte des glaces...) imputables au changement climatique ne fait guère de doute. Mais quels seront les impacts de ces flux migratoires sur les systèmes de santé, en particulier ceux des pays les plus pauvres comme Haïti et le Bangladesh ? Et, comme il vaut mieux anticiper que subir, quels leviers d'action, éprouvés scientifiquement, mobiliser pour atténuer les effets de ces mouvements sur des systèmes déjà très vulnérables ? *« Ces questions constituent un champ de recherche émergent en santé mondiale,* explique Valéry Ridde, spécialiste des systèmes et des politiques publiques de santé longtemps en poste à l'Université de Montréal et arrivé début 2018 au Centre population et développement, à Paris, grâce au programme Mopga. *Le projet Climate Change, Migration and Health Systems Resilience in Haiti and Bangladesh que je conduis, a pour objectif de développer cette thématique en France où elle est encore très peu étudiée. Il rassemble une quinzaine d'experts en sciences sociales, épidémiologie, géographie, statistiques..., français, canadiens, allemands, américains, haïtiens et bengalis. C'est certes un défi, mais c'est passionnant, car cela m'offre l'opportunité de faire évoluer mon parcours de recherche tout en me remobilisant intellectuellement. »*

Qui sont les lauréats ?

Les 43 candidatures retenues par le jury se composent de

12 femmes et **31 hommes,** parmi lesquels

23 juniors (ayant obtenu leur doctorat il y a douze ans au plus) et **20 seniors** (titulaires d'une thèse depuis plus de douze ans).

On dénombre 12 Américains, 12 Français (pour la plupart en poste aux États-Unis), 6 Canadiens, 3 Allemands, 3 Espagnols et 1 lauréat pour la Grèce, l'Italie, le Pérou, l'Angleterre, la Suisse, la Moldavie et le Japon.

Quelles thématiques ?

- **Sciences du système terrestre : 19 projets**
- **Changement climatique et durabilité : 17 projets**
- **Transition énergétique : 7 projets**

© M. MILLER/UNIV. TEXAS AUSTIN

Camille Parmesan

NATIONALITÉ : américaine
ÂGE : 57 ans
INSTITUTION D'ORIGINE : School of Biological and Marine Sciences de l'Université de Plymouth (Royaume-Uni)
ORGANISME D'ACCUEIL : Station d'écologie théorique et expérimentale[7] de Moulis (Ariège)

Quand on lui demande les raisons qui l'ont poussée à traverser le Channel pour rejoindre la Station d'écologie théorique et expérimentale de Moulis, dans l'Ariège, la réponse de la biologiste américaine Camille Parmesan tombe comme un couperet : le Brexit et Donald Trump. *« En 2011, je suis partie d'Austin (Texas) et j'ai gagné Plymouth avec mon mari* [le lépidoptériste Michael Singer, NDLR] *pour nous rapprocher de sa mère très âgée,* explique-t-elle. *Peu après le décès de celle-ci, les Britanniques ont voté en faveur du Brexit. Nous avons choisi de quitter le Royaume-Uni. Mais alors que j'entamais des démarches en vue de retrouver un poste aux États-Unis, Donald Trump a été élu. L'atmosphère scientifique s'est dramatiquement dégradée outre-Atlantique. Les conditions de travail dans les agences gouvernementales comme le Fish and Wildlife Service, l'organisme fédéral chargé de la protection des espèces menacées, sont devenues un enfer. La décision de venir vivre dans le sud de la France, où nous nous rendons périodiquement depuis une trentaine d'années, et dont nous sommes tombés amoureux de la culture, de la convivialité et, bien sûr, de la cuisine, a donc été facile à prendre ».* Spécialiste mondialement réputée de l'impact du réchauffement sur les espèces sauvages, en particulier les papillons de l'Ouest américain et d'Europe, Camille Parmesan participe aux activités du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat depuis 1997 et prêtera depuis l'Hexagone son concours à l'élaboration du prochain rapport qui paraîtra fin 2021.

LÉPIDOPTÉRISTE
Spécialiste des lépidoptères, insectes communément appelés papillon qui forment un ordre regroupant plusieurs milliers d'espèces.

« Le budget dévolu à ce programme baptisé Make our planet great again-German research initiative (Mopga-GRI) s'élève à 15 millions d'euros pour la période 2017-2022, explique Anke Stahl, du Daad. *Nous finançons au total 13 projets de recherche, dont 7 sont portés par des chercheuses et chercheurs qui vivaient et travaillaient jusqu'ici aux États-Unis comme la biologiste Christina Richards et le physicien Yutsung Tsai. Sont notamment mobilisés les universités d'Augsbourg et de Leipzig, l'Institut d'études avancées en développement durable de Potsdam, l'Institut de technologie de Karlsruhe, l'Institut Leibniz de Berlin et le Centre Helmholtz de Geesthacht. Le copilotage de cette initiative devrait donner lieu à de fructueux échanges entre les équipes concernées de part et d'autre du Rhin et, plus largement, renforcer la coopération scientifique franco-allemande. »* Pour s'en assurer, une conférence de mi-parcours se tiendra à Strasbourg, et une conférence de clôture à Berlin, en 2022. II

... indienne jusqu'ici en poste à l'Université de Princeton, trois autres lauréats en provenance des États-Unis et un du Japon.

Coopération franco-allemande

Chargé de l'animation scientifique du projet au plan national, le CNRS s'y emploie également à l'échelon européen avec ses collègues du Deutscher Akademischer Austauschdienst (Daad, Office allemand d'échanges universitaires), l'Allemagne ayant rejoint l'initiative lors du sommet franco-allemand de juillet 2017 et mis sur pied un programme jumeau (mêmes procédures de sélection, mêmes thématiques).

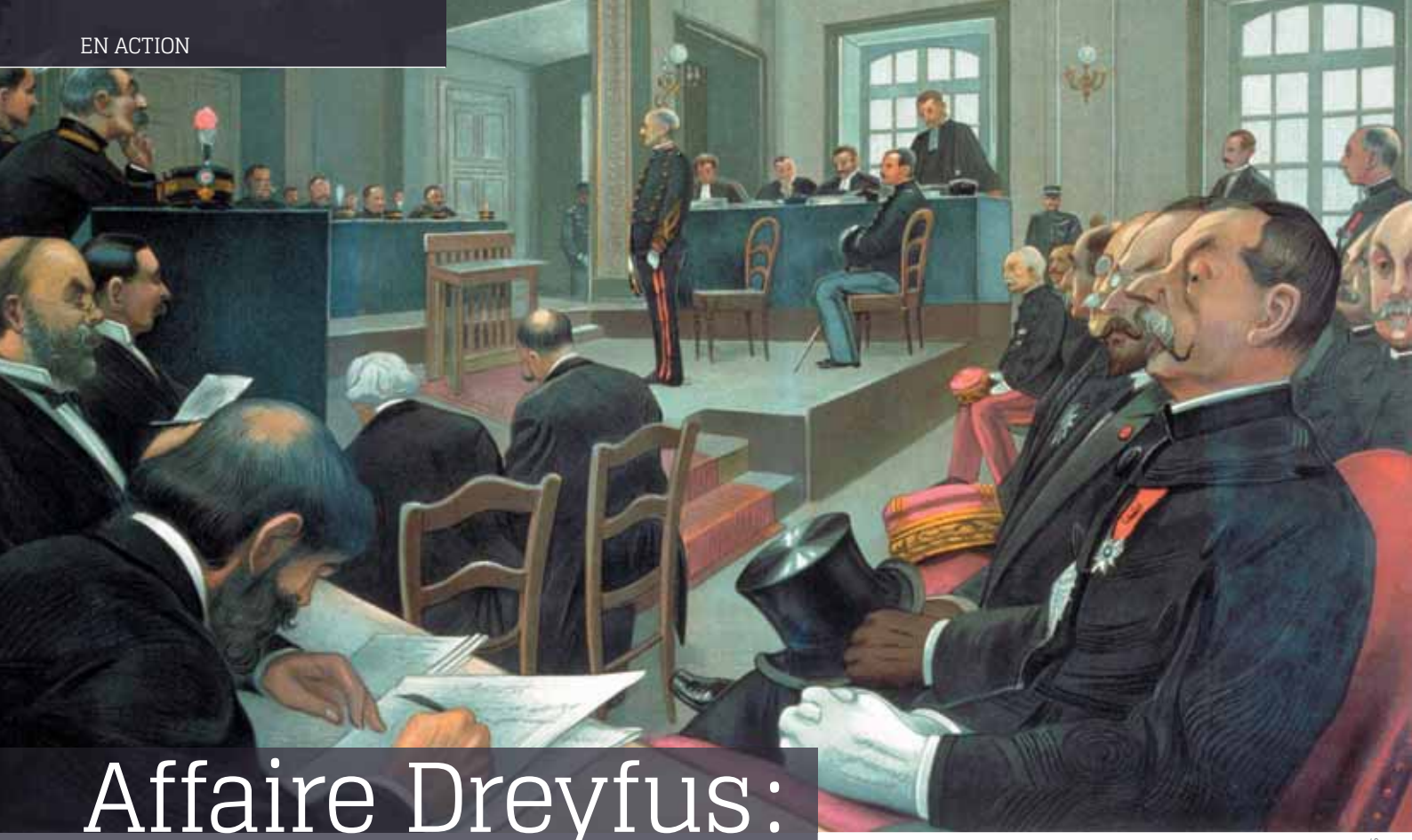
7. Unité CNRS/Université Paul-Sabatier.

© F. MONNA/BIOGEOSCIENCES-DIJON/CNRS PHOTOTHÈQUE ; H. THERY/CREDA/CNRS PHOTOTHÈQUE

EN ACTION

Réinventer la multiplication, décoder le langage du cerveau, comprendre les rouages du microtravail et inaugurer la première filiale du CNRS à l'étranger.

ILLUSTRATION : LAURA JUNGER POUR CNRS LE JOURNAL



Affaire Dreyfus : quand le monde écrivait à Zola

Le capitaine Alfred Dreyfus sera condamné une seconde fois, lors du procès de Rennes, en 1899.

© S. BIANCHETTI/BRIDGEMAN IMAGES

DR

SOCIÉTÉS

Histoire. Après la publication de « J'Accuse », Émile Zola reçoit plusieurs milliers de lettres du monde entier. Que révèlent-elles sur leurs expéditeurs et sur l'écho mondial de l'affaire Dreyfus ? Éléments de réponse avec Olivier Lumbroso, codirecteur du Centre d'étude sur Zola et le naturalisme.

PROPOS RECUEILLIS PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

Épisode essentiel de la IIIe République et archétype de l'erreur judiciaire, l'arrestation et la condamnation du capitaine Dreyfus ont eu des répercussions en France et à l'étranger. Pouvez-vous rappeler les tenants et les aboutissants de l'Affaire ?

Olivier Lumbroso[1] : Le 15 octobre 1894, le capitaine Alfred Dreyfus, Juif alsacien, est accusé d'avoir livré des secrets militaires à l'Allemagne. Il est arrêté, puis condamné à la déportation. Dégradé le 5 janvier 1895, il embarque pour le bagne de l'île du Diable, en Guyane. L'action politique et médiatique du camp dreyfusard, au fil des mois, permet de désigner le commandant Esterhazy comme étant le vrai traître. Le 13 janvier 1898, Zola, qui compte parmi les écrivains les plus traduits au monde, publie « J'Accuse », dans *L'Aurore*, tiré à 300 000 exemplaires. Son pamphlet donne à l'Affaire une dimension internationale. Condamné, Zola s'exile en Angleterre, tandis que la France se déchire dans un climat de haine. Après une nouvelle condamnation en 1899 lors du procès de Rennes, le rideau judiciaire de l'Affaire tombe le 12 juillet 1906 : Dreyfus est déclaré innocent par la Cour de cassation et réintègre l'armée avec le grade de commandant. Esterhazy, lui, ne sera jamais condamné.

La stigmatisation de la communauté juive, déjà forte dans les années 1880, est-elle amplifiée par l'affaire Dreyfus ?

O.L. : L'hostilité à Dreyfus, aux Juifs, à Zola, s'accompagne, dans les grandes villes, d'émeutes antisémites. C'est que l'antisémitisme d'extrême droite, à la fin du XIXe siècle, bénéficie d'une forte influence sur l'opinion publique, notamment par l'entremise des thèses d'Édouard Drumont défendues dans *La France juive* (1886) et développées dans le quotidien antirépublicain *La Libre Parole* qui fustige *« la fatalité et la malédiction de la race »*. Ces idées sont partagées par une partie de la France nationaliste qui voit dans le Juif, l'étranger de l'intérieur, le nomade inassimilable, l'allié des francs-maçons, le meurtrier du Christ… Sans oublier que L'Action française, née en 1898, affiche un antidreyfusisme virulent, défendu par le monarchiste Charles Maurras, rejoint par Maurice Barrès.

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

L'AURORE
J'Accuse...!
LETTRE AU PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE
Par ÉMILE ZOLA

© BRIDGEMAN IMAGES

Première page du journal *L'Aurore* du 13 janvier 1898 titrant « J'Accuse...!» : lettre adressée par Émile Zola au président de la République dans le cadre de l'affaire Dreyfus.

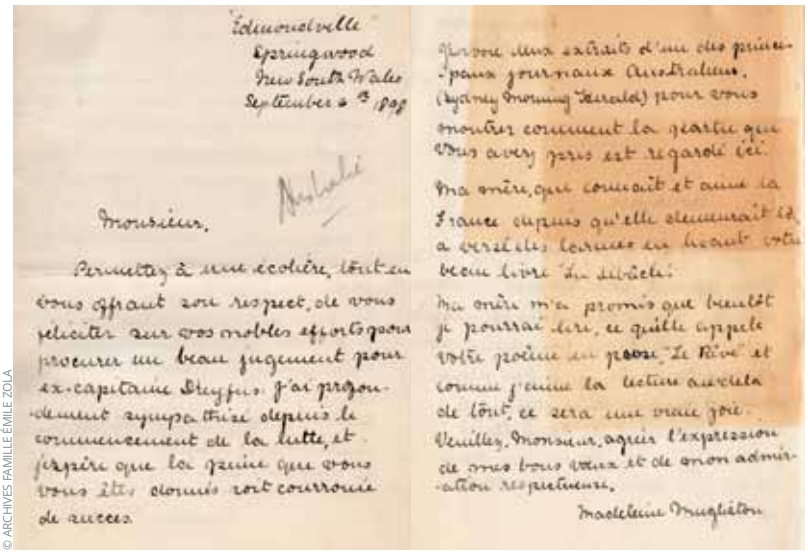
L'onde de choc du « J'Accuse » se propage-t-elle hors de France ?

O.L. : Oui. Les journaux du monde entier traduisent et publient le texte, tantôt littéralement, tantôt en le commentant selon les préférences idéologiques de chaque rédaction. Mais il existe aussi dans le paysage médiatique international, une presse antidreyfusarde liée le plus souvent à un catholicisme radicalisé. Surtout, la publication du « J'Accuse » suscite l'explosion d'un courrier planétaire. Un flot de lettres en langue française et en langues étrangères venant des pays limitrophes de la France, de l'Europe de l'Est, des deux Amériques, de l'Inde, de l'Indonésie, de la Chine, du Japon, de l'Australie ou encore de l'Afrique du Sud, converge vers le domicile parisien de Zola, rue de Bruxelles, ou vers Médan (Yvelines), où il réside de mars à décembre.

Combien de lettres internationales Zola reçoit-il, au total, entre 1898 et 1902, année de sa mort ?

O.L. : Plusieurs milliers. À ce jour, 1 750 de ces missives rédigées pour la plupart individuellement ou collectivement par des anonymes de tout sexe, tout âge et tout rang (médecins, avocats, ouvriers, paysans, militants socialistes…), et parfois accompagnées d'annexes (dessins, longs poèmes à la gloire de Zola…), ont été numérisées par l'Équipe Zola de l'Institut des textes et manuscrits modernes (Item)[2]. Et 1 200 ont été mises en ligne sur la plateforme EMan[3] de l'Item. Nous sommes toutefois loin d'avoir fait le tour de cette masse épistolaire dont une grande partie est encore conservée dans les archives du Dr Brigitte Émile-Zola, arrière-petite-fille du romancier, et demeure par conséquent inédite.

MOUVEMENT NATURALISTE
Mouvement littéraire de la seconde moitié du XIXe siècle qui s'attache à décrire la réalité telle qu'elle est et non telle qu'elle devrait être.


Edmondville
Springwood
New South Wales
Septembre 3rd 1898

Monsieur,

Permettez à une écolière, tout en vous offrant son respect, de vous féliciter sur vos nobles efforts pour procurer un beau jugement pour ex-capitaine Dreyfus. J'ai profondément sympathisé depuis le commencement de la lutte, et j'espère que la peine que vous vous êtes donnée sont couronnée de succès.

Je vous envoie d'un des principaux journaux Australiens, (Sydney Morning Herald) pour vous montrer comment la partie que vous avez pris est regardé ici.

Ma mère, qui connait et aime la France, espère qu'elle deviendrait ici, a vérité les lecteurs en lisant votre beau livre "La Vérité".

Ma mère m'a promis que bientôt je pourrai lire, ce qu'elle appelle votre poème en prose "Le Rêve" et comme j'aime la lecture aussitôt de tout, ce sera une vraie joie.

Veuillez, Monsieur, agréer l'expression de mes bons vœux et de mon admiration respectueuse.

Madeleine Muggleton

© ARCHIVES FAMILLE ÉMILE ZOLA

Lettre d'une collégienne australienne adressée à Émile Zola.

Cette correspondance s'adresse-t-elle au romancier réaliste ou à l'intellectuel engagé dans la défense de la justice et de la vérité ?

O.L. : La plupart des scripteurs associent les deux facettes. Et beaucoup rendent hommage, non sans lyrisme, à un Zola mythifié en qui ils voient soit une figure religieuse (ils le comparent à Moïse ou au Christ, bien que Zola soit athée) soit une figure laïque héroïque, comme Napoléon.

La majorité des lettres est rédigée en français. Pourquoi ce choix ?

O.L. : Pour de nombreux épistoliers, la langue française, même quand ils la maîtrisent mal, est la langue utilisée par Zola pour rédiger ses romans et son « J'Accuse ». Autrement dit, une langue riche de valeurs morales et citoyennes qui donne la force et le courage de s'arracher à sa propre langue, à sa manière habituelle de penser. Écrire au Maître en français, surtout quand on vit sous un régime autoritaire, c'est utiliser la langue de la liberté, des Lumières, de Voltaire et de son Dictionnaire philosophique, de la Révolution de 1789… Par ailleurs, chaque lettre possède son français à soi, voire se distingue par des néologismes inventifs, comme celle d'Elsa, de Budapest, le 13 janvier 1898, qui évoque l'« *intimidité géniale* » de Zola. Il serait intéressant que des ethnolinguistes étudient les variations de ce français selon les lieux du monde. Plus largement, ce corpus de milliers de lettres présente une valeur de témoignage sociologique et ethnographique en ce qu'il s'enracine dans le terreau idéologique, politique et culturel des lecteurs « ordinaires » de Zola, autour du globe. Et il nous permet de mieux cartographier la diffusion du mouvement naturaliste en dehors de l'Hexagone.

Faut-il voir dans toutes ces voix de l'étranger un cri collectif de la planète préfigurant les actuels réseaux sociaux ?

O.L. : C'est anachronique, mais tentant. Ce que l'on peut dire, c'est que ce chœur planétaire est composé de consciences individuelles reconnaissant chacune la souffrance d'un homme, en l'occurrence un homme juif, comme la sienne propre, et osant l'écrire à un écrivain d'origine italienne. Chaque épistolier, qu'il soit juif ou pas, semble dire : *« Je ne suis presque rien dans ce monde et, pourtant, ma voix doit exister pour Dreyfus et Zola. »* Ces lettres, dont il serait heureux d'exploiter les vertus éducatives dans les écoles à l'heure de la montée des nationalismes, ont prouvé à l'auteur des *Rougon-Macquart* la force transformatrice de ses romans et de son engagement sur une partie de l'opinion mondiale à la fin du XIXe siècle. **II**

1. Olivier Lumbroso est professeur de langue et littérature françaises à l'Université Sorbonne Nouvelle-Paris-3 et codirecteur du Centre sur Zola de l'Institut des textes et manuscrits modernes (CNRS/ENS Paris). 2. Unité CNRS/ENS Paris. 3. http://eman-archives.org/EMAN.

La multiplication réinventée

NUMÉRIQUE

Informatique théorique. Deux chercheurs ont développé une nouvelle méthode pour multiplier les très grands nombres. Une avancée potentiellement historique.

PAR KHEIRA BETTAYEB

Adaptation des proportions d'une recette, calcul de pourcentages, résolution de problèmes de mathématiques, programmes informatiques… La multiplication est cruciale dans bien des domaines. Rien d'étonnant donc à ce qu'elle soit l'une des quatre opérations algébriques rudimentaires enseignées à l'école – avec l'addition, la soustraction et la division. Or voilà que lors de travaux récents[1], Joris van der Hoeven, du Laboratoire d'informatique de l'École polytechnique[2], à Palaiseau (Essonne), et son collègue australien David Harvey, de l'Université de Nouvelle-Galles du Sud (Australie), sont parvenus à développer une méthode permettant de multiplier plus rapidement les nombres entiers (donc sans virgule). De quoi *« aider à augmenter la vitesse de calcul des ordinateurs »*, se réjouit Joris van der Hoeven.

L'incroyable lenteur du classique

Pour comprendre, revenons sur la méthode de multiplication classique apprise à l'école. Elle consiste à superposer les deux nombres à multiplier, à multiplier chaque chiffre du premier nombre par chaque chiffre du second et à additionner les résultats.

Ainsi, pour multiplier deux entiers formés chacun de 3 chiffres, il faut 3 x 3 multiplications à un chiffre, soit 9 opérations, plus une addition des 9 résultats. Pour deux nombres à 5 chiffres chacun, 5 x 5, soit 25 multiplications, plus une addition des 25 résultats. Plus généralement, pour un nombre à n chiffres, cela nécessite $n \times n$, ou n^2 multiplications.

Plus les nombres multipliés sont grands, plus le nombre d'opérations nécessaires est important. *« Pour deux nombres d'un milliard de chiffres chacun, il faut un milliard fois un milliard de multiplications, soit un milliard de milliards (ou 10^{18}) d'étapes. Donc si on suppose qu'il faut une seconde pour faire un milliard d'opérations, comme c'est le cas pour un ordinateur moyen actuel, cela requiert au final un milliard de secondes, soit… près de 32 années ! »*, précise Joris van der Hoeven. D'où l'intérêt de développer des techniques plus rapides.

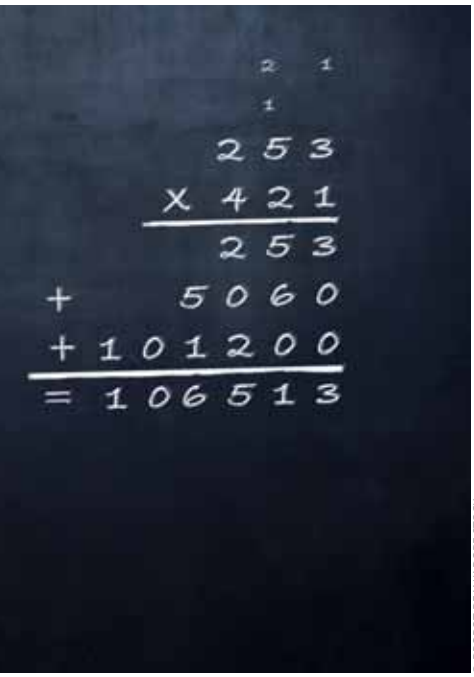
Un algorithme inédit

Par le passé, plusieurs algorithmes de multiplication plus rapides que la technique classique ont déjà été conçus. Notamment, en 1971, les mathématiciens allemands Arnold Schönhage et Volker Strassen sont arrivés à un procédé qui réduit le nombre d'opérations nécessaires à $n \times (\log(n)) \times \log(\log(n))$[3]. *« Cette avancée a permis de réduire le temps de multiplication de deux nombres d'un milliard de chiffres chacun à une trentaine de secondes sur un ordinateur portable d'aujourd'hui, contre, pour rappel, plus de 30 ans »*, souligne Joris van der Hoeven. D'ailleurs, l'algorithme d'Arnold Schönhage et de Volker Strassen est désormais utilisé par la plupart des logiciels permettant de calculer avec des grands nombres.

Schönhage et Strassen ont aussi prédit l'existence d'un algorithme encore plus rapide, qui permettrait de multiplier les nombres à n chiffres en seulement $n \times (\log(n))$ opérations. *« Notre récent article donne le premier exemple connu d'algorithme permettant cela »*, indique Joris van der Hoeven. Plus précisément, le nouvel algorithme réduit le nombre d'opérations à réaliser – *« des multiplications, mais aussi, et surtout, des additions et des soustractions »*, souligne le chercheur –, à $Cx(nx(\log n))$, *où C est une constante qui dépend* de la vitesse de la machine effectuant les calculs. Par exemple si C vaut 1, la multiplication de deux nombres à 10 chiffres nécessiterait 10 x log (10), soit 10 opérations ; contre 10 x 10, soit 100 opérations

LOGARITHME
Fonction mathématique qui « transforme » les multiplications en additions (par exemple, log(100) = 2, log(1000) = 3 et log(1 000 000) = 6).

1. « Integer multiplication in time O(n log n) », D. Harvey, J. Van Der Hoeve, consultable sur archives-ouvertes.fr 2. Unité CNRS/École polytechnique de Palaiseau. 3. A. Schönhage et V. Strassen, « Schnelle Multiplikation grosser Zahlen », *Computing*, Vol.7, 281-292, Springer Verlag, septembre 1971. 4. Unité CNRS/Université de Bordeaux/Bordeaux INP. 5. Pour Fast Fourier Transform.



© DROBOT DEAN/ADOBE STOCK

avec la technique classique. Et la multiplication de deux nombres à 100 chiffres, 200 opérations plutôt que 10 000.

« Si cette nouvelle technique – en cours de vérification par des experts – se révèle correcte, elle constituerait une avancée majeure pour la recherche fondamentale, dans le domaine de la théorie de la complexité informatique », note Fredrik Johansson, chercheur à l'Institut de mathématiques de Bordeaux[4].

Seulement pour les très grands nombres

Problème : pour l'instant la nouvelle méthode n'est valable que pour de très grands nombres, *« avec plus de 20 milliards de milliards de milliards de chiffres »*, détaille Joris van der Hoeven. Soit des nombres astronomiques, difficile même à concevoir ! À titre de comparaison, l'âge de l'Univers n'est « que » de 14 milliards d'années… On l'aura compris, pour l'instant la nouvelle méthode n'est d'aucune utilité pour les multiplications simples du quotidien… et ne nous aidera donc pas pour remplir la déclaration de revenus !

« Nous avons conçu notre démonstration de manière à ce qu'elle soit la plus courte et la plus simple possible ; ce qui impliquait de se limiter à des nombres très grands, explique Joris Van Der Hoeven. *Cela dit, à l'avenir, nous comptons bien tenter d'identifier des variantes de l'algorithme pouvant s'appliquer à des nombres plus petits. »*

De quoi accélérer la recherche en mathématiques ?

Le nouvel algorithme devrait améliorer la vitesse de calcul des ordinateurs, dans certains domaines. *« Par exemple en recherche en mathématiques, pour calculer les innombrables décimales du nombre Pi (3,14159…), une constante impliquée dans de nombreuses formules de maths, d'ingénierie et de physique »*, indique Joris Van Der Hoeven. À noter : en mars dernier Google a annoncé avoir établi un nouveau record, avec le calcul de 31 000 milliards de décimales après la virgule.

« Des variantes de notre algorithme pourraient aussi être implantées dans des logiciels utilisant l'algorithme dit de la "transformation de Fourier rapide" (ou FFT)[5]*, utilisé couramment pour traiter et interpréter des signaux numérisés dans divers domaines : simulation informatique, mécanique des fluides, traitement d'images, etc. »*, ajoute l'informaticien.

Sera-t-il possible un jour de découvrir un algorithme encore plus rapide ? *« Probablement que non : en 1971, Schönhage et Strassen ont prédit que* n* log (n) *est le meilleur résultat possible »*, répond Joris van der Hoeven, qui a copublié pas moins de 6 articles sur ce sujet. *« Cette fois, à moins d'une très grosse surprise, nous avons sûrement mis un point final à cette recherche. »* **II**

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

En bref

UN PARTENARIAT POUR L'ESPACE

En juillet, Jean-Yves Le Gall, président du Centre national d'études spatiales (Cnes), et Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, ont signé le renouvellement, pour cinq ans, de l'accord-cadre de coopération scientifique, qui relie les deux organismes. Ceux-ci s'engagent ainsi à unir leurs efforts dans les domaines de la recherche sur l'environnement terrestre et sur l'Univers. L'accord-cadre prolonge la convention établie le 6 avril 1976 entre le Cnes et le CNRS.

DES MATÉRIAUX POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Le CNRS, l'ENS de Lyon, IFP Énergies nouvelles (IFPEN), Sorbonne Université, l'Université Claude-Bernard Lyon-1 et l'Université de Strasbourg viennent de créer, pour une durée de cinq ans, CARMEN, laboratoire commun de recherche (LCR), dans le domaine de la caractérisation des matériaux pour les énergies nouvelles.

UN ACCORD-CADRE POUR LA JUSTICE ET LA SÉCURITÉ

Le 27 juin, le CNRS et l'Institut national des hautes études de la sécurité et de la justice (INHESJ) ont signé un accord-cadre pour la recherche en sécurité et la justice. Cet accord concerne la mise en place d'un appel à projets conjoint, qui permettra de financer des recherches dans les domaines de la prévention de la délinquance, politiques, outils, acteurs ; de la transformation numérique, algorithmes, usages et action publique ; de la sécurité et de la justice environnementales.

LE RAPPORT D'ACTIVITÉ 2018

Le CNRS a publié en juillet son rapport d'activité 2018. Édité en format papier et disponible en PDF, il est également consultable dans une version en ligne enrichie.

» **https://2018.racnrs.fr**

L'Europe met le cap sur l'innovation

PAR SAMAN MUSACCHIO

International. Véritable nouveauté du prochain programme-cadre Horizon Europe, le Conseil européen de l'innovation commence déjà à financer des projets, alors qu'il est toujours en phase pilote.

« *Il s'agit de faire pour l'innovation ce que nous avons fait pour la recherche fondamentale avec le Conseil européen de la recherche (ERC)* », annonçait en mai dernier Jean-David Malo, directeur du Conseil européen à l'innovation (EIC)[1], lors d'un colloque organisé à Bruxelles par le CNRS. Car le constat est sans appel : l'Europe est à la traîne de l'innovation. Si chaque année, elle crée plus de start-up que les États-Unis, peu de ces entreprises survivent sur le long terme ou parviennent à s'installer sur la scène mondiale. Et si elles y arrivent, comme le géant de la musique suédois Spotify, c'est souvent grâce à des investissements étrangers. Seulement 8 % des licornes – entreprises valorisées à plus d'un milliard de dollars – sont européennes, un chiffre dérisoire comparé aux 50 % de parts américaines. C'est pour inverser cette tendance que l'EIC, véritable nouveauté du prochain programme-cadre Horizon Europe (2021-2027), a été créé. Avec un budget qui pourrait atteindre 10 milliards d'euros, il promet d'encourager l'émergence de technologies de rupture grâce à l'investissement public, s'inspirant de la Darpa américaine[2] ou du modèle israélien Yozma[3]. Fait très rare, ce projet a été mis en phase pilote dès 2018 au sein du programme-cadre actuel H2020 (2014-2020). Doté de 778 millions d'euros et regroupant plusieurs outils de financement existants comme les FET Open et SME Instrument Phase II, il a pu accompagner de nombreux projets innovants[4]. Encouragé par ces premiers résultats, l'EIC est passé en phase pilote « avancée » (EIC Enhanced Pilot) depuis mars dernier avec un budget de 2 milliards d'euros sur deux ans.

Un marché du risque fragmenté

Pour Jean-David Malo, qui dirige cette nouvelle phase pilote, « *l'Europe a tous les atouts : des chercheurs mondialement reconnus, des formations de qualité, de grands laboratoires comme ceux du CNRS et une part élevée de brevets* ». Pourquoi alors cette difficulté à faire fructifier les connaissances vers le monde de l'industrie ? Pour lui, la réponse est à chercher, d'une part, du côté du marché unique qui n'existe pas encore véritablement. « *Nous ne comparons pas vraiment un pays – comme les États-Unis ou la Chine – à un autre pays, mais à 28 pays qui essayent de travailler ensemble, alors même qu'ils ont encore des législations très différentes, sur nombre de sujets.* » Mais l'explication principale serait un marché du capital-risque petit et fragmenté : 6 milliards de dollars sur le 4e trimestre 2018, comparé aux 42 milliards des États-Unis sur la même période. Une tendance qui s'accroît.

CAPITAL-RISQUE
Investissement privé dans des sociétés qui n'ont pas encore atteint l'équilibre financier.

Selon lui, les Européens ne sont pas plus réfractaires au risque que d'autres, mais ont simplement moins de fonds à dépenser : « *Si vous gérez un portefeuille de 10 ou 100 millions d'euros, prendre le risque sur un investissement n'a pas les mêmes conséquences…* » Et si en plus du risque financier, il y a un risque marché et technologique, « *cela devient tout sauf attractif pour un*

investisseur », ajoute Jean-David Malo, soulignant le besoin d'intervention des pouvoirs publics.

À ce sujet, la structure même de l'EIC représente une petite révolution (lire l'encadré ci-dessous) : *« Pour la première fois, la Commission sera en mesure d'investir directement dans des entreprises,* explique Jean-David Malo. *Et nous sommes prêts à aller très loin. Déjà en phase pilote, nos subventions peuvent aller jusqu'à 15 millions d'euros. »*

Un guichet unique

« C'est bien à ce stade, entre 5 et 20 millions – ce qu'on appelle un premier tour de table – qu'il est difficile de trouver des financements en Europe, explique Ane Aanesland, cofondatrice de ThrustMe, start-up qui développe des systèmes de propulsion électriques pour satellites miniaturisés, et lauréate 2019 de la médaille de l'innovation (lire page 10). *Ces entreprises partent souvent directement aux États-Unis pour développer la partie commerciale, laissant la partie technologique en Europe. L'EIC a été créé pour éviter cela. »* Et elle sait de quoi elle parle. ThrustMe, résultat de plus de dix ans de recherche fondamentale au Laboratoire de physique des plasmas[5], a touché 2,5 millions d'euros dans le cadre de la première phase pilote de l'EIC en 2018[6]. *« L'Europe est un guichet unique, ce qui est très important pour une start-up qui n'a pas le temps ou les ressources humaines pour négocier avec un consortium »,* ajoute-t-elle, précisant que ce financement a été obtenu en moins de six mois pour développer la phase d'industrialisation. Le dispositif d'accompagnement pour sensibiliser au monde de l'entreprise a lui aussi été très utile. *« Nous avons droit à douze jours de formation avec des spécialistes sur des sujets que nous connaissons mal, comme l'aspect commercial de ventes B2B »,* conclut Ane Aanesland.

RISQUE MARCHÉ ET TECHNOLOGIQUE
Risque de perte qui peut résulter des fluctuations de prix liées à l'activité d'un marché : matière première, taux de change, etc. Risque que la technologie échoue après des années de développement.

Un pilote proche du but

Les appels de cette nouvelle phase pilote (EIC Enhanced Pilot) ont été lancés cet été pour une première date de dépôt début octobre. En juillet, un conseil consultatif composé de 22 personnes issues du monde de l'industrie et de la recherche a été constitué pour définir la mise en œuvre de ce programme au sein d'Horizon Europe.

Reste à savoir comment trouver l'articulation parfaite entre l'EIC et les partenaires locaux, régionaux, nationaux ainsi que les structures de recherche. Pour Jean-Luc Moullet, directeur général délégué à l'innovation du CNRS, *« avec EIC Accelerator* (lire ci-dessous), *la Commission innove en proposant un outil qui combine à la fois subventions et prises de participation en capital. Nous allons travailler pour que les start-up accompagnées par CNRS-Innovation dans le cadre du programme RISE[7] soient bien positionnées pour bénéficier de ce nouvel outil vraiment structurant pour accompagner leur croissance ».* II

DEEP TECH
Innovations qui émergent de la recherche fondamentale, comme des nouvelles molécules contre le cancer ou les réseaux neuronaux liés à l'intelligence artificielle.

© HURCA!/STOCK.ADOBE.COM

Une aide en amont et en aval

La structure du Conseil européen de l'innovation (EIC)[1] est double. Un pilier amont Explorateur (EIC Pathfinder) pour aider à transformer les nouvelles connaissances en innovation au sein d'une start-up ou spin-off – ou pour la transférer vers une entreprise (subventions, investisseurs, écosystème des entreprises). Et un pilier aval Accélérateur (EIC Accelerator), pour donner les moyens aux start-up et PME de changer d'échelle, et offrir une stabilité à des entreprises positionnées sur des innovations de rupture ou deeptech (dont le développement est sur le long terme).

1. Pour European Innovation Council. 2. Pour Defense Advanced Research Projects Agency, « Agence pour les projets de recherche avancée de défense ». La Darpa, agence du département de la Défense des États-Unis, est en charge de la recherche et développement des nouvelles technologies destinées à un usage militaire. 3. « Initiative », en hébreu. Lorsqu'un investisseur privé se risque à placer 1 dollar, le fonds public Yozma l'abonde du même montant. 4. http://ec.europa.eu/research/participants/portal/doc/call/h2020/eic-smeinst-2018-2020/1850113-eic_ph2_01-2019_en.pdf. 5. Unité CNRS/ École polytechnique/Observatoire de Paris/Université Paris-Sud/Sorbonne Université. 6. Grâce au programme SME Instrument Phase II, devenu aujourd'hui EIC Accelerator Pilot Grants. 7. https://www.cnrsinnovation.com/rise/

Ces microtravailleurs de l'ombre

© A. NARIC/GETTY IMAGES

NUMÉRIQUE SOCIÉTÉS

Sociologie. La première étude sur le microtravail en France montre que 260 000 « travailleurs du clic » effectueraient ces petites tâches rémunérées de quelques centimes à quelques euros, souvent destinées à alimenter les nouveaux outils numériques. Les sociologues Paola Tubaro et Antonio Casilli nous en disent plus.

© INSTITUT MINES-TÉLÉCOM

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

Vous avez publié, en mai, le premier rapport sur le microtravail[1] en France. Qu'entend-on par microtravail ?

Paola Tubaro[2] : Ce sont des tâches courtes, répétitives et assez rébarbatives, effectuées pour la plupart devant un ordinateur : identifier des objets sur une image, étiqueter des contenus, enregistrer sa voix en lisant de courtes phrases, traduire de petits bouts de texte… Ces activités faiblement rémunérées, de quelques centimes à quelques euros la tâche, ne supposent pas de qualifications particulières. Elles sont proposées par des plateformes spécialisées dans le microtravail, qui font office d'intermédiaires entre les microtravailleurs et les entreprises pour lesquelles ces opérations sont exécutées.

À quoi servent ces microtâches ?

Antonio Casilli[3] : Une grande partie d'entre elles sont destinées à alimenter les technologies dites « intelligentes ». Ainsi, pour préparer un assistant vocal comme Alexa d'Amazon, capable de comprendre les demandes qu'on lui adresse, il faut produire une masse d'exemples de langage naturel humain, avec une pluralité d'accents et de bruits de fond, dans les langues de tous les pays où l'outil va être commercialisé… Même chose pour la voiture autonome sur laquelle beaucoup d'entreprises travaillent : il faut fournir à l'intelligence artificielle des décryptages d'images toujours plus fins, identifier les feux rouges, les passages piétons, les devantures de magasins… de toutes les formes et dans tous les contextes possibles.

56 % des microtravailleurs sont des femmes, qui effectuent ces tâches le soir, après leur journée de travail.

On parle beaucoup de machine learning, d'« apprentissage machine », mais cela n'est possible que si on fournit à la machine des données utilisables qu'elle saura reconnaître et ranger. Et ce sont des humains, en l'occurrence les microtravailleurs, qui produisent les exemples nécessaires à cet apprentissage.

En France, nous avons dénombré 23 plateformes de microtravail, dont 14 sont de nationalité française, à l'image de la plus grosse d'entre elles, Foule Factory, aussi connue sous le nom de Wirk, sur laquelle nous avons interrogé près de 1 000 microtravailleurs dans le cadre de notre étude.

Sait-on combien il y a de microtravailleurs en France ?

A. C. : Ne pouvant nous reposer sur les seules déclarations des plateformes, nous avons croisé plusieurs méthodes, qui nous ont permis d'aboutir à trois estimations différentes : 15 000 personnes seraient très actives et se connecteraient chaque semaine sur les plateformes de microtravail ; 50 000 seraient des microtravailleurs réguliers et se connecteraient au moins une fois par mois ; enfin, nous avons dénombré 260 000 microtravailleurs

1. http://diplab.eu/?page_id=239. 2. Paola Tubaro est sociologue au Laboratoire de recherche en informatique (CNRS/Université Paris-Sud/CentraleSupélec).
3. Antonio Casilli est sociologue à l'Institut interdisciplinaire de l'innovation (CNRS/Mines ParisTech/Télécom ParisTech/École polytechnique). Il a publié *En attendant les robots, enquête sur le travail du clic* aux éditions du Seuil en janvier 2019.

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

Lire aussi le point de vue de Karën Fort « Miracles et mirages du crowdsourcing », sur **lejournal.cnrs.fr**

occasionnels, qui constituent une véritable « armée numérique de réserve » pour les plateformes en cas de besoin. Il faut savoir que les microtravailleurs inscrits sur ces plateformes ne connaissent généralement pas le nom de l'entreprise pour laquelle ils effectuent ces tâches, ni le projet dans lequel elles s'inscrivent, ce qui peut générer pas mal de frustration et une vraie perte de sens.

Quel est le portrait-robot du microtravailleur ?

A. C. : Notre enquête révèle une géographie sociale marquée par la précarité, dont certains aspects sont assez alarmants. Le microtravailleur est d'abord une microtravailleuse, souvent chargée de famille et possédant un emploi principal à côté. 56 % des microtravailleurs en France sont en effet des femmes ; 63 % des microtravailleurs ont entre 25 et 44 ans, et 64 % ont un emploi principal. Ils travaillent dans les secteurs de la santé, de l'éducation, ou encore dans les services publics… et utilisent le microtravail comme revenu de complément. L'investissement des femmes dans le microtravail, assez important dans certains cas, montre un glissement de celles-ci vers la « triple journée » : l'activité sur les plateformes de microtravail vient s'ajouter à un emploi à temps plein et aux tâches ménagères et familiales.

À noter que 22 % des microtravailleurs sont au-dessous du seuil de pauvreté, ce qui confirme un réel problème de précarité économique dans notre pays. Enfin, et c'est assez surprenant pour des tâches dont on dit qu'elles ne demandent aucune qualification, les microtravailleurs sont plus diplômés que la moyenne de la population. Ainsi, 43 % ont un diplôme supérieur à Bac+2. Leur motivation principale pour le microtravail est avant tout l'argent, mais aussi la flexibilité qu'il autorise : on peut se connecter à n'importe quelle heure et y passer le temps que l'on souhaite puisque l'on est généralement payé à la pièce.

Sous quel statut ces « travailleurs du clic » travaillent-ils ? Et quels sont leurs revenus ?

P. T. : On ne peut pas parler de statut, puisque les microtravailleurs ne signent pas de contrat de travail et ne sont pas entrepreneurs indépendants. Leur activité est régie par des formes de contrats diverses, qui vont du simple « accord de participation » à l'adhésion aux conditions générales d'utilisation. Ils ne bénéficient d'aucune protection, ne cotisent pas à la retraite ou au chômage… Et n'ont actuellement aucun moyen de faire valoir cette expérience dans le cadre d'un parcours professionnel. Le microtravail a la particularité d'être, de façon générale, invisible, effectué à la maison, ce qui rend très difficile sa valorisation, mais aussi toute forme d'organisation collective. Les risques inhérents à cette activité existent pourtant, notamment les risques psychosociaux, même s'ils sont difficiles à évaluer. Nous parlions tout à l'heure de perte de sens, mais cela peut aller plus loin : certains microtravailleurs ont pu se retrouver en situation de modérer des contenus violents pour les réseaux sociaux – par exemple, des vidéos de nature terroriste –, ou de discriminer des photos à caractère pornographique ou non…

A. C. : Les revenus perçus sont en moyenne de 21 euros par mois, ce qui masque évidemment des réalités différentes, entre celui qui travaille occasionnellement et celui qui se connecte trois fois par semaine. Mais il ne faut pas espérer gagner un salaire avec cette activité, même en y passant huit heures par jour. Si les plateformes rémunèrent les tâches en référence au Smic horaire – à la condition expresse que celles-ci soient validées par le client, ce qui n'est pas toujours le cas –, les microtravailleurs passent en réalité autant de temps à essayer de comprendre les consignes et à échanger sur les forums de microtravail qu'à réaliser effectivement les tâches. Or ce temps n'est pas rémunéré. Même chose pour les qualifications que les plateformes demandent aux microtravailleurs pour réaliser certaines activités, comme de petites traductions. Pour passer une qualification en arabe, par exemple, il faut accomplir un certain nombre de tâches qui ne seront pas payées…

© M. HANDREK-RÉHLE/BLOOMBERG VIA GETTY IMAGES

Derrière les voitures autonomes, une armée de microtravailleurs fournit des données à l'intelligence artificielle.

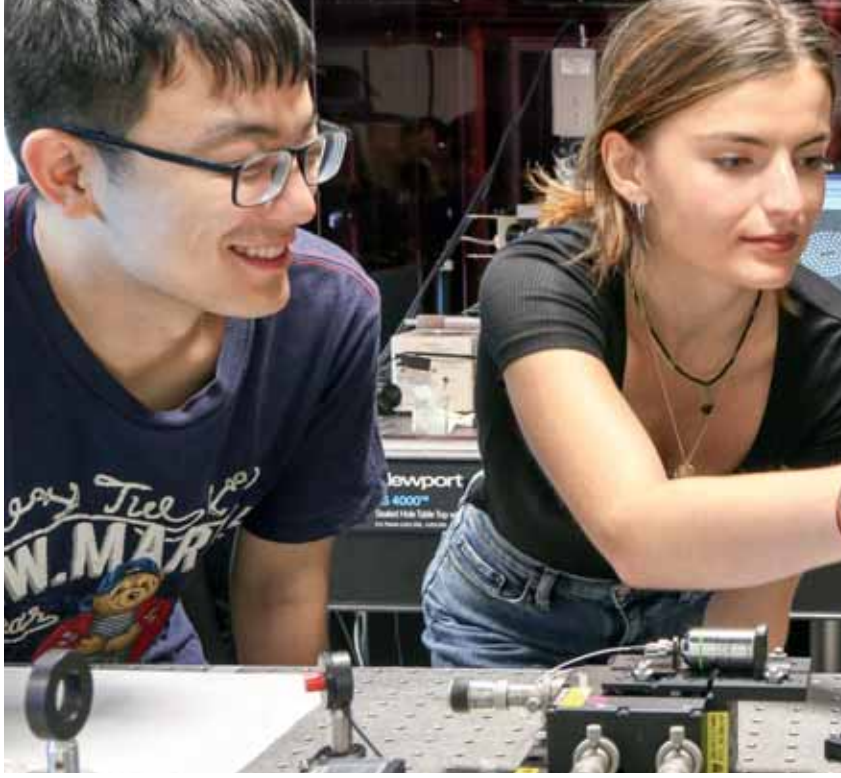
Selon vous, quel est l'avenir du microtravail en France ?

P. T. : Nous pensons qu'il ne s'agit pas d'un phénomène temporaire, car les besoins du secteur du numérique et de l'intelligence artificielle ne cessent de croître et d'évoluer. Il y a quelques années, on demandait aux robots de pouvoir distinguer un chien d'un chat… Aujourd'hui, ils font ça très bien, mais d'autres demandes beaucoup plus complexes sont apparues. Pour les voitures autonomes, qui occupent beaucoup les plateformes de microtravail depuis deux ans, les clients veulent désormais des images annotées au pixel près… Le mythe selon lequel l'automatisation allait supprimer les emplois peu qualifiés se révèle faux : derrière l'intelligence artificielle, il faut certes des ingénieurs et des informaticiens, mais il faut également une armée de microtravailleurs qui n'est pas près de disparaître. C'est pour cette raison que la société doit aujourd'hui s'en préoccuper. ■

International. CNRS@Create, première filiale à l'étranger du CNRS, a été inaugurée le 25 juin en présence d'Antoine Petit, PDG de l'organisme. Installée à Singapour, elle permettra au CNRS de développer des programmes internationaux de recherche de très large envergure.

PAR LAURENCE STENVOT

Le CNRS ouvre sa première filiale à l'étranger



CNRS International-NTU-Thales Research Alliance (Cintra), laboratoire du CNRS spécialisé en nano-technologies, implanté à Singapour.

Avec quatre International Research Laboratories[1] implantés à Singapour, le CNRS bénéficie d'une large présence scientifique au sein de la Cité-État. *« L'Asie est un moteur scientifique doté de plusieurs pôles dont Singapour »,* rappelle Patrick Nédellec, directeur de la Direction Europe de la recherche et de la coopération internationale (Derci).

Après avoir installé, en 2014, un bureau de représentation en Asie, le CNRS organise l'année suivante une grande conférence réunissant tous ses laboratoires d'Asie. *« Pour nos partenaires singapouriens, ce fut la preuve de l'investissement du CNRS à la Cité. »,* souligne-t-il. *« Nous avons suscité l'intérêt de l'agence de financement de la recherche de Singapour* (National Research Foundation Singapore, NRF). *Un intérêt qui se traduit aujourd'hui par la création de la toute première filiale du CNRS à l'étranger: CNRS@Create »,* ajoute Dominique Baillargeat, nommé en mai directeur de la filiale.

© DERCI-CNRS

Antoine Petit, PDG du CNRS, avec Marc Abensour (au centre), ambassadeur de France à Singapour, et Tenck Seng Low, directeur général de la NRF, lors de l'inauguration de CNRS@Create.

Programme d'envergure

Conçu comme un opérateur de programmes et un lieu de construction de collaborations de recherche, CNRS@Create est intégré au Campus for Research Excellence and Technological Entreprise (Create). Créé par la NRF, ce dernier développe des collaborations internationales de recherche par le financement massif de grands programmes menés entre ses partenaires. *« Create s'apparente à un outil de financement de recherche à forts impacts potentiels pour Singapour. Il conduit, par exemple, des programmes de recherche sur la ville, l'énergie ou encore les effets du changement climatique dont les résultats pourront trouver des applications dans d'autres pays »,* explique Jean-Yves Marzin, directeur de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS, en charge du projet

1. Le laboratoire Image & Pervasive Access Lab (CNRS/Université nationale de Singapour/Université Grenoble-Alpes/I2R A*Star Institut Mines-Télécom) spécialisé en intelligence artificielle et cyber-sécurité ; le laboratoire CNRS International-NTU-Thales Research Alliance – Cintra (CNRS/Thalès/Université technologique de Nanyang) spécialisé en nanotechnologies ; le laboratoire Majulab (CNRS/Université nationale de Singapour/Université technologique de Nanyang/Université Nice Sophia Antipolis/Sorbonne Université) spécialisé en physique ; le laboratoire Biomechanics of Cellular Contacts (CNRS/Université nationale de Singapour) spécialisé en biologie.
2. Massachusetts Institute of Technology. 3. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.

© DINH XUAN QUYEN

de création de CNRS@Create. Campus international de la recherche à Singapour, la tour Create compte dans ses rangs de grandes universités singapouriennes, telles que la National University of Singapore, et étrangères parmi lesquelles le MIT[2], ETH Zurich[3], Cambridge ou Berkeley. *« La NRF a souhaité que le CNRS fasse partie du club : c'est le premier organisme de recherche à être invité dans ce cadre »,* rapporte Jean-Yves Marzin.

Transfert de technologie

D'ici à 2021, le CNRS, par le biais de sa filiale, ambitionne de mettre en place son premier grand programme de recherche au sein de Create. *« Nous profiterons du prochain Plan Research Innovation and Entreprise de la NRF pour le proposer. D'ici là, nous déposerons des projets de moindre envergure dans des domaines tels que l'énergie ou encore la biologie de synthèse »,* explique Dominique Baillargeat. CNRS@Create représente également un outil supplémentaire pour le CNRS dans sa politique de transfert alors que *« Create favorise le développement de programmes de recherche générant de la valorisation via la propriété intellectuelle et la création de start-up »,* commente le directeur de la filiale. Un transfert de technologie qui pourra être notamment soutenu par un tissu industriel français largement présent à Singapour.

Dispositif interdisciplinaire, agile et réactif, cette première filiale du CNRS s'inscrit au cœur de la nouvelle stratégie internationale du CNRS. Ce modèle, plein de promesses, pourrait donner de nouvelles ambitions à l'organisme. Pour Patrick Nédellec, *« CNRS@Create nous permet de développer un nouveau savoir-faire. Je le vois comme une opération pilote transférable dans d'autres pays prêts, comme Singapour, à investir massivement. »* ||

En bref

Un accord-cadre avec l'Inrap

Fin mai, l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) et le CNRS ont signé un accord-cadre formalisant la volonté des deux institutions de renforcer leur collaboration scientifique, par exemple par le développement de programmes de recherche ou d'appels à projets communs, ou dans le cadre d'opérations d'archéologie préventive. L'Inrap et le CNRS souhaitent également intensifier la promotion de la diffusion des résultats issus de leurs activités communes.

Tara trace les plastiques des fleuves

Le 23 mai, la goélette de la Fondation Tara Océan a quitté Lorient pour une expédition de six mois sur dix fleuves européens. À son bord, une quarantaine de scientifiques chargés d'évaluer la concentration de déchets plastiques charriés par les fleuves et leur impact sur les organismes marins. Le CNRS coordonne le volet scientifique de cette mission dont le directeur scientifique est Jean-François Ghiglione, écotoxicologue microbien à l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer[1] (Pyrénées-Orientales).

Lire notre entretien avec Jean-François Ghiglione avant le début de la mission sur **lejournal.cnrs.fr**

© A. BOISSAY/STUDIO CUI CUI/ FONDATION TARA OCÉAN

La Tamise, à Londres, est l'un des dix fleuves européens où la goélette *Tara* effectuera des prélèvements.

Des traitements de surface pour l'aéronautique

En juin, Safran, Oerlikon, le CNRS et l'Université de Limoges ont annoncé la création d'un laboratoire de recherche commun, PROTHEIS et d'une plateforme technologique SAFIR dans le domaine des traitements de surface en région Nouvelle-Aquitaine. Objectif : accroître les performances des équipements aéronautiques et spatiaux.

1. Unité CNRS/Sorbonne Université.

Décoder le langage interne du cerveau

VIVANT

© J.-P. PARIENTÉ DR

Neurosciences. Brosser le panorama des connaissances sur le cerveau et ses maladies, et décrire certains des défis majeurs qui attendent les neurosciences dans les vingt prochaines années, telle est l'ambition du *Cerveau en lumières,* sorti en juin. Entretien avec Etienne Hirsch (à gauche) et Bernard Poulain, codirecteurs de cet ouvrage collectif.

PROPOS RECUEILLIS PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

© ORLAVISTOCK/GETTY IMAGES PLUS

En quoi le cerveau est-il le plus complexe, le plus subtil, le plus extraordinaire des organes ?

Bernard Poulain[1] : En raison notamment du nombre de ses composants. Le cerveau humain adulte ne pèse que 1 400 grammes mais contient 100 milliards de neurones (et quatre fois plus de cellules gliales) reliés entre eux par plusieurs millions de kilomètres d'axones (longs prolongements des neurones) et un million de milliards de synapses. Rien que dans un millimètre cube de cerveau, on trouve 100 000 neurones, 4 kilomètres d'axones et un mètre de capillaires sanguins ! Mais le plus fascinant est peut-être moins sa complexité, dont nous prenons chaque jour davantage la mesure, que ses propriétés, comme la faculté de communiquer par le langage, de manipuler des symboles ou d'être conscient de soi et des autres, propriétés qui font de nous des êtres humains.

Quel objectif fondamental poursuivent les neurosciences ?

Etienne Hirsch[2] : L'ambition qui nous anime est d'étudier l'organisation et le fonctionnement du système nerveux en y incluant les organes des sens. Nous cherchons à comprendre, entre autres, comment le cerveau régule notre physiologie, prend des décisions, interprète ce que perçoivent les organes des sens, apprend, mais aussi comment cet organe très plastique se remodèle tout au long de la vie et peut dysfonctionner. En plus des neurosciences biologiques et cognitives, la recherche sur le cerveau mobilise la physique, la chimie, les mathématiques appliquées, l'informatique, la robotique, l'éthologie, les sciences humaines et sociales…

Dans quels domaines les neurosciences ont-elles le plus progressé ces dernières années ?

B.P. : La connaissance des mécanismes moléculaires à l'œuvre lors du transfert des informations entre les synapses est parvenue à un degré de raffinement inégalé. Nous en savons aussi beaucoup plus sur l'étonnante variabilité de fonctionnement des neurones et des synapses, laquelle est liée à l'expression différente de nombreux gènes. Il apparaît, par ailleurs, que le remodelage constant du cerveau se manifeste à tous les niveaux de son organisation, de la synapse au cortex, et dans des temporalités allant de la milliseconde aux quelque vingt-cinq

1. Bernard Poulain est directeur adjoint scientifique de l'Institut des sciences biologiques du CNRS et codirecteur de l'Itmo Neurosciences, sciences cognitives, neurologie, psychiatrie (Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé-Aviesan).
2. Etienne Hirsch est codirecteur de l'Institut thématique multi-organisme (Itmo) Neurosciences, sciences cognitives, neurologie, psychiatrie Inserm (Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé-Aviesan).

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

années que demandent sa construction et sa maturation. La façon dont nous comprenons les mécanismes de la mémoire et des apprentissages enfin a été révolutionnée. On sait désormais qu'apprendre, ce n'est pas ranger des livres sur une étagère, stocker des informations dans des circuits préexistants, mais construire de nouvelles connexions synaptiques et modeler de nouveaux circuits de neurones.

Comment le développement de l'imagerie a-t-il contribué à une meilleure connaissance du cerveau ?

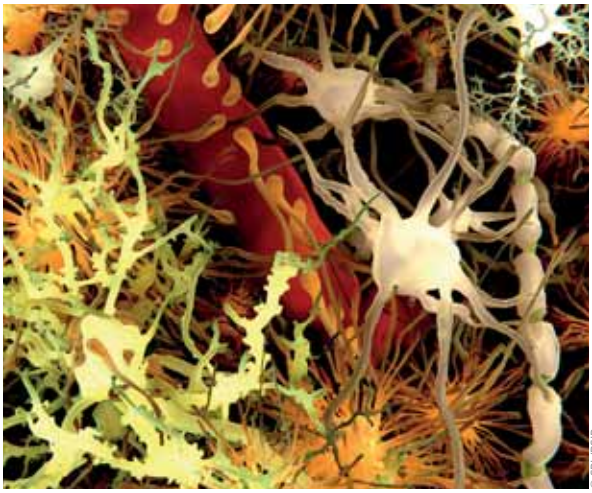
B.P. : L'explosion de ces technologies permet d'étudier le cerveau à diverses échelles spatiales et temporelles, de la cellule unique au réseau neuronal, de la milliseconde à la durée d'une vie. Nous pouvons même voir l'activation des grands réseaux et localiser les zones impliquées dans la réalisation de tâches cognitives (prise de décision, mémorisation…). Autrement dit, nous pouvons observer le cerveau humain en action, sans l'ouvrir, chose inconcevable il y a seulement quelques décennies.

Le séquençage du génome a-t-il livré des informations sur les liens entre mutations génétiques et pathologies neurologiques et psychiatriques ?

E.H. : Au cours des vingt dernières années, nombre de maladies neurodégénératives rares, à l'instar de la maladie de Huntington, maladie qui se caractérise par une dégénérescence progressive de certains neurones, et de formes rares de maladies fréquentes (Parkinson, Alzheimer, épilepsie…) ont vu leur cause élucidée grâce au développement du séquençage. Ce dernier a en outre permis d'identifier des mutations génétiques associées à la schizophrénie et à certaines formes d'autisme, ce qui a invalidé l'idée que ce trouble psychiatrique était une psychose infantile provenant d'une mauvaise relation de la mère à son nouveau-né. Plus largement, le principe d'un continuum entre les pathologies neurologiques et psychiatriques, dont beaucoup reposent sur un substrat biologique, s'est imposé.

Quels sont les défis des prochaines années ?

B.P. : Cartographier et caractériser le câblage du cerveau afin d'établir ce qu'on appelle son « connectome anatomique et fonctionnel » (quels neurones sont connectés avec quels autres et pour faire quoi à un instant donné ?). Un défi connexe est de décrypter le « code neural », c'est-à-dire le langage interne du cerveau. Au-delà des retombées fondamentales et cliniques, le décodage des algorithmes utilisés par le cerveau pour le traitement des informations devrait ouvrir la porte à de nouvelles interfaces cerveau-machine et susciter l'émergence d'une informatique et d'une robotique neuro-inspirée. Il reste également à élucider plus finement les mécanismes du développement et du vieillissement du système nerveux, la façon dont son fonctionnement dépend des autres systèmes physiologiques (immunitaire, endocrinien, gastro-intestinal…), de l'environnement social et écologique, etc.



© SPL/BSIP

Représentation numérique de cellules du cerveau : des neurones (en jaune), des cellules gliales, dont des astrocytes (en orange) et des oligodendrocytes (en blanc).

__Le Cerveau en lumières__, Etienne Hirsch, Bernard Poulain (dir.), Odile Jacob, 400 p., juin 2019, 28,90 €. Ouvrage réalisé par l'Itmo Neurosciences, sciences cognitives, neurologie, psychiatrie, dans le cadre de l'Alliance nationale pour les sciences de la vie et la santé (Aviesan).

SUBSTANCE NOIRE
Structure située dans le tronc cérébral.

PHOTORÉCEPTEURS
Cellules qui détectent les signaux lumineux, les transforment en signaux électriques et stimulent des neurones qui acheminent les messages jusqu'au cerveau via le nerf optique.

Et en matière d'imagerie, quels progrès sont à attendre ?

E.H. : La miniaturisation des outils d'imagerie permettra de visualiser l'activité cérébrale d'un sujet animal ou humain dans son cadre de vie habituel, alors que les expériences se déroulent actuellement dans des enceintes très contrôlées loin de la complexité de l'environnement naturel. Et la mise en évidence de nouveaux biomarqueurs spécifiques d'un mécanisme pathologique, comme les altérations des neurones de la substance noire à l'origine des symptômes moteurs de la maladie de Parkinson (lenteur, rigidité, tremblement de repos), favorisera la détection plus précoce d'une maladie, garantira un suivi plus précis de son évolution et une meilleure évaluation du traitement.

Dans un futur proche, certains aveugles peuvent-ils espérer revoir ?

B.P. : Tout à fait. Nous sommes à la veille de pouvoir offrir aux personnes atteintes de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) ou de rétinopathie pigmentaire la possibilité de recouvrer la vue via des implants rétiniens. Cette perspective s'adresse aux non-voyants dont les photorécepteurs ont dégénéré, mais dont les cellules nerveuses de la rétine et le nerf optique restent fonctionnels. L'optogénétique, grâce à laquelle on parvient à contrôler de petites populations de neurones en les « allumant » ou en les « éteignant » à l'aide de la lumière, devrait également s'avérer un outil précieux pour restaurer la vision. Concernant les maladies du cerveau, l'utilisation des thérapies non médicamenteuses (réalité virtuelle, jeux intelligents…) est à valider et à développer. II

Le CNRS étoffe sa présence sur les grands sites

Politique scientifique. À mesure qu'émergent en France de grandes universités de recherche, le CNRS y a considérablement renforcé sa présence, assurant ainsi son rôle de partenaire privilégié.

PAR LAURENCE STENVOT

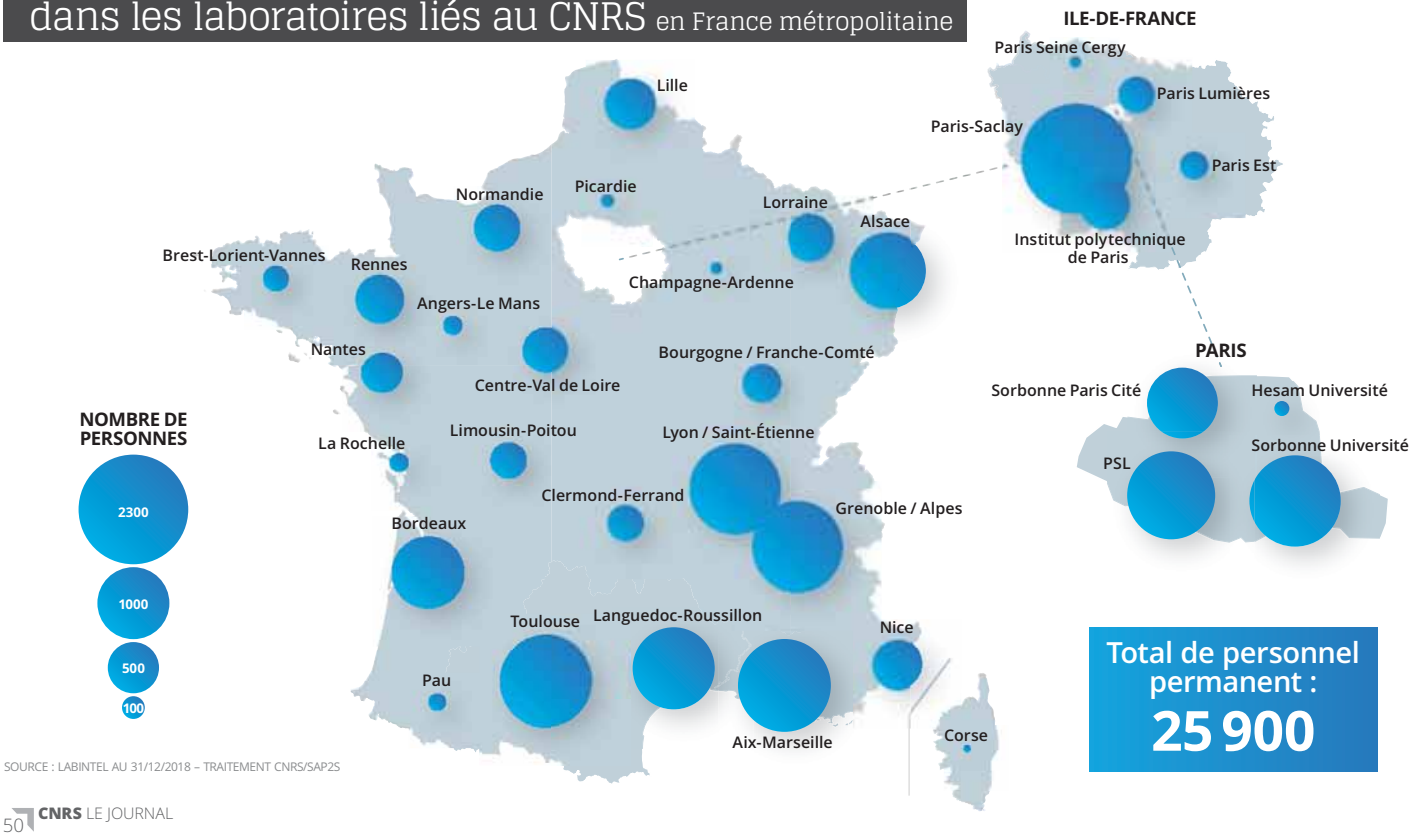
Dans la compétition entre grandes universités, instaurée par les classements internationaux tels que le classement de Shanghai[1], le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche (ESR) français compte bien tirer son épingle du jeu ! C'est pour apporter une visibilité internationale qui pouvait manquer aux établissements de l'ESR français que le gouvernement a imaginé à partir de 2010 la politique des Initiatives d'excellence (Idex) et des Initiatives sciences, innovation, territoires, économie (I-site) dans le cadre du Programme d'investissement d'avenir. Le concept ? Faire émerger des universités pluridisciplinaires de rayonnement mondial à la puissance scientifique de premier plan grâce à des regroupements territoriaux d'établissements d'enseignement supérieur (universités et grandes écoles).

Une révolution dans le paysage de l'ESR à laquelle *« le CNRS a contribué dès le départ à la structuration des différents sites,* indique Alain Schuhl, directeur délégué général à la science de l'organisme scientifique. *Aujourd'hui encore, nous souhaitons contribuer à l'émergence des grandes universités de recherche avec comme objectif d'en être un partenaire fort. »*

Les acteurs locaux, la pièce maîtresse

Un enjeu important qui s'inscrit notamment au sein de la politique de site mise en place par le CNRS. Celui-ci se positionne en effet comme un partenaire privilégié des grandes universités de recherche et des collectivités territoriales en apportant à ces dernières sa vision nationale et internationale. *« Il s'agit d'identifier les domaines pour lesquels chaque site est le plus*

Répartition du personnel permanent CNRS dans les laboratoires liés au CNRS en France métropolitaine



Total de personnel permanent : 25 900

SOURCE : LABINTEL AU 31/12/2018 – TRAITEMENT CNRS/SAP2S

© SOLOREM

En avril dernier, le nouveau bâtiment de l'institut Jean Lamour, laboratoire de recherche en sciences des matériaux, a été inauguré sur le campus Artem à Nancy.

performant afin de construire une complémentarité nationale et une mise en réseau des acteurs », indique Alain Schuhl. Des thématiques scientifiques, aux relations avec le monde industriel, en passant par l'apport de la science aux politiques publiques ou encore la diffusion de la culture scientifique, une politique de site se bâtit par la conjonction des politiques des acteurs intervenant sur le site.

Pour renforcer sa présence sur les sites, le CNRS a imaginé un dispositif inédit : chaque directeur ou directrice d'institut s'est vu attribuer une fonction de directeur/trice scientifique référent (DSR). Cette fonction, créée en 2010 par Alain Fuchs, alors président du CNRS, permet aux dix directeurs d'instituts d'être les interlocuteurs privilégiés auprès des acteurs de chaque site (universités, écoles, collectivités, industriels, associations…). Pour chaque site, le DSR forme une équipe avec le ou la délégué(e) régional(e) (DR) et les adjoints au DSR (ADSR). Ces derniers sont désormais plus nombreux et épaulés par des chargés de missions. *« Avec cette équipe, le DSR a pour mission d'élaborer la stratégie globale du CNRS sur le site, de la proposer au comité de direction du CNRS, puis de porter cette stratégie une fois qu'elle a été validée »,* précise la directrice de la Dapp[2] Virginie Bonnaillie-Noël. Cette stratégie est élaborée dans une logique de partenariats avec l'ensemble des acteurs présents sur le site.

Indispensable remontée d'informations

« *Ce dispositif permet un suivi global de la vie des sites et fait le lien avec le PDG du CNRS. Il y a une remontée d'informations impressionnante mise en place sur trois niveaux : DSR, ADSR et DR »,* déclare Pascal Auscher. Directeur de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions du CNRS, il est le DSR de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Une région qui regroupe trois sites : Lyon/Saint-Étienne, Grenoble Alpes et Clermont/Auvergne. Chacun de ces sites a été lauréat d'une Idex ou I-site qui sera évaluée en 2020 et est en train de construire de nouveaux établissements expérimentaux. *« Le rôle de DSR pour un directeur d'institut est très important mais il me serait impossible de passer plus d'une journée mensuelle sur chaque site ! C'est à ce niveau que les ADSR et DR interviennent en se rendant régulièrement sur sites et en se tenant au fait des évolutions de ces derniers, notamment en siégeant au sein des différentes instances »,* précise Pascal Auscher.

C'est le cas pour Laurence Hartmann, ADSR depuis cinq ans du site alsacien et du site lillois dont elle suit la construction depuis ses débuts. *« Nous sommes partis d'une feuille blanche. Il a fallu tout construire afin de valoriser l'excellence du site, les aspects recherche, formation et innovation »,* indique l'ADSR qui siège pour le CNRS au sein du comité de pilotage de l'I-site Université Lille Nord Europe.

Un soutien pour les grands projets

Un partage d'informations et de réflexions qui ne serait pas complet sans l'action des délégués régionaux, parties prenantes dans la construction de ces sites ancrés territorialement. *« En tant que déléguée régionale, du fait de ma connaissance de l'écosystème (au sens partenaires académiques et socio-économiques et collectivités territoriales) et des attentes des laboratoires, je contribue à la construction de la stratégie du CNRS sur les sites et à son déploiement adapté aux spécificités locales en mobilisant les équipes de la délégation »,* explique Muriel Sinanidès, DR Centre-Est de 2016 à 2019. Le périmètre de cette délégation regroupe des sites différents : la Loraine et son université fusionnée, la Bourgogne Franche-Comté dont le site s'articule autour d'une ComUE[3] et la Champagne-Ardenne, l'ensemble adossé à deux grandes régions.

Si le CNRS assure un lien constant avec les différents sites pour favoriser leur construction, il faudra également penser au futur des Idex et I-site. Une fois ces dernières confirmées, le CNRS, partenaire de toutes les Idex et de la plupart des I-site, a l'ambition de construire de grands projets scientifiques avec les grandes universités qui auront émergé. **II**

1. Le classement de Shanghai (appellation commune du *Academic Ranking of World Universities*) est un classement des principales universités mondiales, établi par des chercheurs de l'université Jiao-tong de Shanghai en Chine. 2. Direction d'appui aux partenariats publics du CNRS.
3. Pour Communauté d'universités et établissements.

Histoire d'eaux

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

TERRE

Hydrogéologie. Agriculture, tourisme, changement climatique… Autant de contraintes qui mettent à mal les stocks d'eau douce. Pour parvenir à une gestion raisonnée de cette ressource, une équipe d'hydrogéologues reconstitue l'histoire des eaux souterraines. Direction la Corse, où elle a mené l'enquête.

PAR VAHÉ TER MINASSIAN

Surexploitation, pollution… à l'échelle mondiale, l'eau douce compte parmi les ressources sous tension. C'est particulièrement vrai dans le bassin méditerranéen où la rareté des stocks, combinée à leur mauvaise répartition, est préoccupante. Une situation qui pourrait s'aggraver avec l'augmentation de la population sur le littoral, le développement de l'agriculture et du tourisme auxquels s'ajoutent la hausse des températures et la modification des régimes de précipitation dues au changement climatique.

Mieux connaître le cycle de l'eau dans les régions méditerranéennes afin de proposer un mode de gestion plus raisonné, voilà l'objectif de l'équipe d'hydrogéologues du laboratoire Sciences pour l'environnement de Corte (Corse)[1]. Frédéric Huneau, professeur des universités, et ses collègues mobilisent des outils d'investigation géochimiques et isotopiques pour établir les caractéristiques des masses d'eaux souterraines et évaluer ainsi leur capacité à se renouveler.

Source d'information

Toute masse d'eau conserve, dans sa composition, la trace de son parcours depuis le moment où elle s'est infiltrée dans le sol à l'état de pluie jusqu'à celui où elle rejoint, au bout de parfois plusieurs millénaires, lacs et rivières.

Pour tirer des informations de l'eau, l'équipe a recours à des analyses chimiques et isotopiques. Ainsi, sa composition en chlorofluorocarbones (CFC) sera un indicateur de son âge. Ce gaz, interdit d'utilisation par le Protocole de Montréal de 1987 en raison des dommages qu'il cause à la couche d'ozone, a vu sa concentration dans l'atmosphère évoluer de manière connue depuis les années 1950.

PROTOCOLE DE MONTRÉAL
Accord international sur l'environnement, signé par 24 pays et par la Communauté économique européenne, entré en vigueur le 1er janvier 1989. Objectif : réduire et, à terme, éliminer les substances qui réduisent la couche d'ozone.

En comparant les relevés des stations d'observation atmosphériques à la teneur en CFC des échantillons d'eau, les chercheurs sont capables de déterminer à quelle époque cette dernière s'est infiltrée en profondeur. D'autres méthodes de datation existent. *« On peut aussi utiliser du tritium, forme d'hydrogène radioactif massivement dispersée dans l'atmosphère au cours des essais nucléaires des années 1960, ou encore, pour les eaux les plus anciennes, faire appel au carbone 14 »*, explique Frédéric Huneau. Et il est même possible en focalisant les recherches sur l'oxygène 18, de préciser à quelle altitude et en quelle saison ce processus a débuté !

OXYGÈNE 18
Isotope de l'oxygène contenu dans la molécule d'eau (H_2O).

Grâce à ses mesures, l'équipe a entre autres à son actif la première datation des eaux souterraines qui participent à l'alimentation de la lagune de Biguglia, non loin de Bastia. Âgée de 70 ans au maximum, cette nappe souterraine a été contaminée par du nitrate. Les scientifiques ont réussi, en combinant des analyses isotopiques de l'azote à des datations d'eaux, à déterminer qu'il était issu de deux vagues de pollution différentes : l'une d'origine agricole dans les années 1950 et 1960, l'autre, plus récente, remontant à une vingtaine d'années au plus, est due à des fuites dans les réseaux d'assainissement. Une mauvaise nouvelle car lorsque surviendra le retour naturel des eaux souterraines vers la lagune, le mélange avec l'eau saumâtre pourrait aboutir à une prolifération d'algues vertes !

© F. HUNEAU

Prélèvement d'eau souterraine ferrugineuse et carbogazeuse en Castagniccia, au nord-est de la Corse.

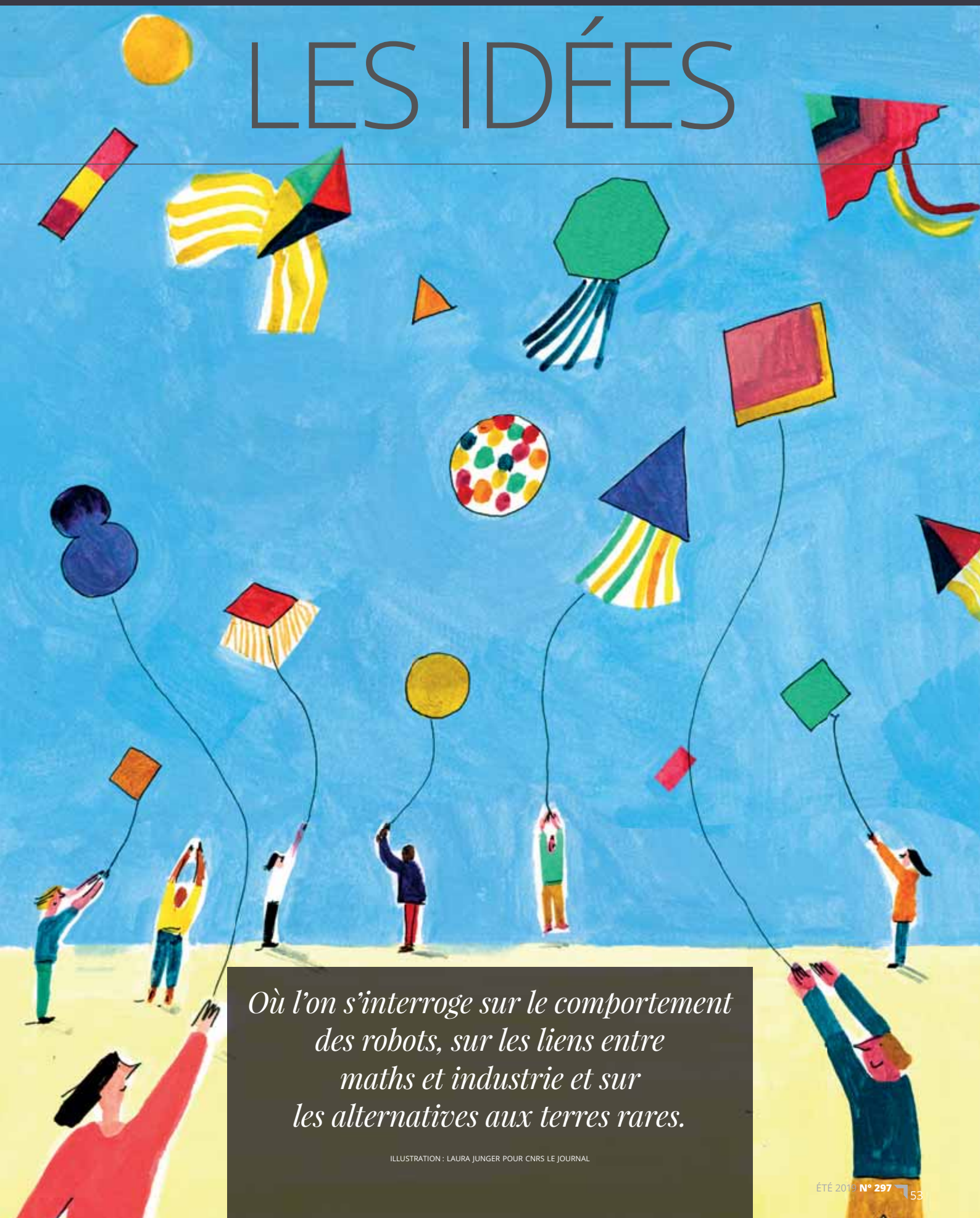
Réserves souterraines

Les recherches menées par les hydrogéologues du groupe Gestion et valorisation des eaux en Méditerranée, dont l'objectif est de proposer des outils d'aide à la décision, transposables d'un site à l'autre, participent à l'évaluation de l'impact des changements climatiques à venir. *« Certes, la Corse est une île montagneuse pourvue en rivières, mais celles-ci sont inégalement réparties et sont parfois touchées par la sécheresse en été, pendant la saison touristique »*, rappelle Frédéric Huneau avant d'indiquer que *« le recours aux eaux souterraines pourrait constituer une solution de substitution »*.

Actuellement, ces dernières ne comptent que pour 60 % dans la consommation de la Corse contre 80 % pour le reste de la France métropolitaine. Constituant un intéressant potentiel que ces chercheurs entendent désormais mieux cerner. ||

1. Unité CNRS/Université de Corse Pasquale-Paoli.

LES IDÉES



Où l'on s'interroge sur le comportement des robots, sur les liens entre maths et industrie et sur les alternatives aux terres rares.

ILLUSTRATION : LAURA JUNGER POUR CNRS LE JOURNAL

© NETFLIX

Le robot, un animal comme les autres ?

DR

Par Jean-François Bonnefon, psychologue.[1]

Numérique. Les algorithmes d'intelligence artificielle sont parfois des boîtes noires aux règles inaccessibles. Selon Jean-François Bonnefon, pour comprendre les machines qui en sont dotées, nous devons créer une science, comme nous l'avons fait pour étudier le comportement animal.

Nos interactions sociales, culturelles, économiques et politiques font une place grandissante à un nouveau type d'acteurs : les machines dotées d'une intelligence artificielle. Celles-ci filtrent les informations qui nous parviennent, nous guident dans la recherche d'un conjoint, conversent avec nos enfants, échangent des titres sur les marchés financiers… Bientôt, elles conduiront nos voitures et feront la guerre à notre place. Si nous voulons les garder sous contrôle, en tirer les plus grands bénéfices et en minimiser les dommages potentiels, il nous faut comprendre leur comportement.

Parfois, la programmation d'une machine n'est pas accessible, par exemple quand son code est un secret industriel. Dans ce cas, il est nécessaire de comprendre une machine de l'extérieur, en observant ses actions et en mesurant leurs conséquences. D'autres fois, il n'est pas possible de prédire le comportement d'une machine à partir de son code, parce que ce comportement va changer de façon complexe quand la machine s'adaptera à son environnement, par un processus d'apprentissage certes guidé mais opaque. Dans ce cas, il est nécessaire d'observer en continu ce comportement et d'en simuler les évolutions potentielles. Enfin, même quand on peut prédire le comportement d'une machine à partir de son code, il est difficile de prédire comment les actions de la machine vont changer le comportement des humains et comment les actions des humains vont, en retour, changer le comportement de la machine. Il est alors nécessaire de mener des expériences pour anticiper la coévolution culturelle des humains et des machines.

Observer les machines

Afin de relever tous ces défis, nous devons créer une discipline scientifique, dédiée au comportement des machines, comme nous avons créé la discipline scientifique du comportement animal. Pour ce faire, on a besoin de spécialistes du comportement entraînés aux méthodes expérimentales dans les champs de la psychologie, de l'économie, des sciences politiques ou de l'anthropologie, car on ne peut comprendre le comportement des machines intelligentes uniquement sur la base de l'informatique ou de la robotique.

Le comportement des animaux était étudié bien avant que l'étude du comportement animal ne soit formalisée en tant que discipline structurée et indépendante. De la même façon, de nombreux scientifiques se reconnaîtront dans la discipline du comportement des machines, une fois que celle-ci sera structurée et identifiée. Mais le plus important est qu'ils et elles se reconnaîtront entre eux, bien plus facilement qu'aujourd'hui.

1. Jean-François Bonnefon est docteur en psychologie cognitive et directeur de recherche CNRS, chercheur à la Toulouse School of Economics, la Toulouse School of Management, l'Institute for Advanced Study in Toulouse, et chercheur invité au Massachusetts Institute of Technology.
2. « Machine behaviour », Jean-François Bonnefon *et al.*, *Nature* 568, 477, avril 2019.

Scène tirée de *Love, Death & Robots*, série télévisée d'animation américaine produite par Joshua Donen, David Fincher et Tim Miller.

En rassemblant ce qui est aujourd'hui épars, nous permettrons aux chercheurs en comportement des machines de s'identifier mutuellement et d'organiser leur coopération au travers des frontières disciplinaires actuelles ; nous permettrons aux pouvoirs publics et aux agences de régulation de s'appuyer plus facilement sur un corpus scientifique aujourd'hui dispersé et difficile d'accès ; et nous permettrons aux citoyens de s'orienter plus lucidement dans un monde bouleversé par l'émergence des machines intelligentes. C'est là la motivation d'un appel aux chercheurs, aux décideurs publics, et aux entreprises qui façonnent les machines intelligentes, que j'ai publié dans la revue *Nature*[2] avec 22 coauteurs européens et américains. Nous y examinons les grandes questions susceptibles de fonder le champ du comportement des machines, inspirées par les questions qui ont fondé le champ du comportement animal.

Rassembler les différentes communautés

Parmi ces grandes questions figure celle des incitations sociales et économiques qui ont façonné le comportement initialement attendu d'une machine. Par exemple, quelle est la métrique que tentait initialement de maximiser un algorithme de filtrage d'information sur les réseaux sociaux et quels sont les effets psychosociaux inattendus de cet objectif initial ?

Autre type de grandes questions : par quels mécanismes un comportement a-t-il été acquis et par quels mécanismes a-t-il été modifié ? Par exemple, sur quel type de données un algorithme de police prédictive a-t-il été initialement entraîné ? Si ces données étaient biaisées contre un groupe social particulier, l'algorithme est-il susceptible d'amplifier ce biais par ses décisions et ainsi d'entrer dans une spirale d'injustice ?

Savoir dans quel environnement un comportement peut se maintenir ou se propager, et dans quel environnement il est voué à disparaître, fait aussi partie des grandes questions que nous avons examinées. Par exemple, une archive ouverte d'algorithmes pour voitures autonomes peut-elle permettre à la programmation d'un modèle de voiture de se propager rapidement à tous les autres modèles, avant même qu'un quelconque problème puisse être détecté par le régulateur ?

Toutes ces interrogations doivent être déclinées à l'échelle d'une machine isolée, d'une machine interagissant avec d'autres machines, et à l'échelle des collectifs hybrides formés par les humains et les machines. Toutes sont essentielles, mais elles sont aujourd'hui étudiées en ordre dispersé par des communautés qui peinent à se reconnaître. Rassembler ces communautés sous la bannière de la nouvelle science du comportement des machines sera une étape décisive pour prendre harmonieusement le tournant de l'intelligence artificielle. **II**

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

Lire aussi l'article « Peut-on faire confiance à l'intelligence artificielle ? » sur **lejournal.cnrs.fr**

DR

3 questions à Éric Humler

Le directeur-adjoint scientifique de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS a coordonné avec Christiane Grappin l'ouvrage collectif *Quand la Terre tremble*.

PROPOS RECUEILLIS PAR GRÉGORY FLÉCHET

Quel a été le point de départ de ce livre qui dresse un bilan des connaissances sur les phénomènes telluriques et leurs impacts sur le territoire français ?

Éric Humler[1] : La condamnation à six ans de prison ferme de sept sismologues, accusés d'homicide par négligence pour ne pas avoir prévu l'ampleur du séisme de L'Aquila, le 6 avril 2009, qui a fait plus de 300 morts. Même si la cour d'appel de L'Aquila a finalement estimé que les faits ne constituaient pas un délit, il nous a semblé important de débattre en France de la question de la responsabilité des scientifiques en période de crise.

Quelles sont les recommandations de l'ouvrage ?

E. H. : Nous en avons formulé plusieurs. Par exemple, entre les observations quotidiennes des chercheurs et les situations de catastrophes où les services du ministère de l'Intérieur prennent les choses en main, il subsiste une sorte de zone grise autour de la surveillance continue des phénomènes telluriques. Nous pourrions ainsi envisager de mettre sur pied un groupe d'« urgentistes » des risques telluriques. Nous avons aussi pointé une dispersion de la chaîne du risque et la nécessité de mieux organiser les relations entre l'ensemble des partenaires du paysage national pour gagner en réactivité.

Ce qui a été le cas pour l'épisode « sismo-volcanique » de Mayotte ?

E. H. : En effet, la communauté scientifique s'est vite mobilisée et organisée pour comprendre l'origine des 1 600 séismes qui ont eu lieu en un peu plus d'un an au large de l'île. Les missions à terre et en mer ont permis de découvrir qu'il s'agissait d'un volcan sous-marin en train de naître et vont se poursuivre pour étudier ce phénomène. **II**

Quand la Terre tremble. Séismes, éruptions volcaniques et glissements de terrain en France, *Christiane Grappin et Éric Humler (coord.), CNRS Éditions, mai 2019, 264 pages, 24 €.*

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

1. Éric Humler travaille au Laboratoire de planétologie et géodynamique (CNRS/Univ. de Nantes/Univ. d'Angers).

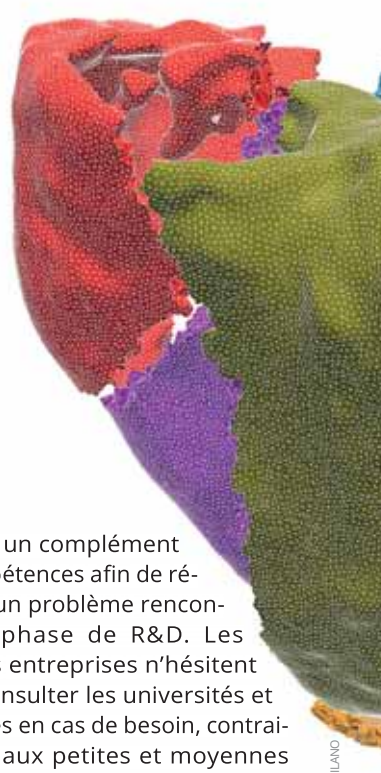
Maths et industrie, le compte est bon

DR

NUMÉRIQUE SOCIÉTÉS

Innovation. Quel est le point commun entre un nouveau matériau, un selfie et un bateau de course ? Des équations mathématiques. La mathématicienne Maria J. Esteban détaille les coulisses de la collaboration entre sa discipline et le monde industriel.

PROPOS RECUEILLIS PAR ANAÏS CULOT



© PR ALFIO QUARTERONI/POLITECNICO DI MILANO

Vous présidez l'International Council for Industrial and Applied Mathematics (Iciam) dont le congrès s'est tenu cet été en Espagne. De quoi s'agit-il ?

Maria J. Esteban[1] : L'Iciam est un conseil international qui regroupe des sociétés savantes de tous les continents ayant un intérêt affirmé dans les applications des mathématiques. Tous les quatre ans, nous organisons un congrès dont les objectifs sont d'exposer les thèmes actuellement importants, de dresser un bilan de la recherche des quatre dernières années et de faire de la prospective. Y sont présentées les applications des mathématiques à d'autres sciences, à des problématiques sociétales et aussi à l'industrie. Une journée est notamment consacrée à la présentation de partenariats réussis entre mathématiques et industrie.

Où trouve-t-on les mathématiques dans l'industrie ?

M.J.E. : Aujourd'hui tout est modélisable et on retrouve les mathémtiques dans de nombreuses industries, de l'aéronautique à l'industrie pharmaceutique. On peut décrire par des équations les processus de conception de nouveaux objets, l'organisation de grands réseaux de production, le comportement d'un matériau, etc. Les mathématiques servent aussi l'innovation en proposant de nouveaux designs, de nouveaux matériaux de construction ou électroniques. Avec le calcul haute performance, on réalise des simulations plutôt que de procéder à des phases de test grandeur nature, longues et onéreuses.

L'industrie rencontre-t-elle des problématiques récurrentes auxquelles peuvent répondre les mathématiciens ?

M.J.E. : Avec la montée en puissance du numérique et de l'intelligence artificielle, le concept d'industrie du futur, qui doit être connectée, compétitive et toujours plus innovante, se fait par exemple de plus en plus présent. Les industriels produisent également des grands volumes de données qu'ils ont des difficultés à prendre en compte. Et le big data accentue ce phénomène : comment les analyser, les comprendre mais aussi les utiliser pour améliorer leur organisation, leur production ou leurs ventes ? Aujourd'hui, il est possible de traiter des problématiques de plus en plus complexes et d'utiliser des algorithmes de plus en plus puissants, car les ordinateurs sont de plus en plus performants.

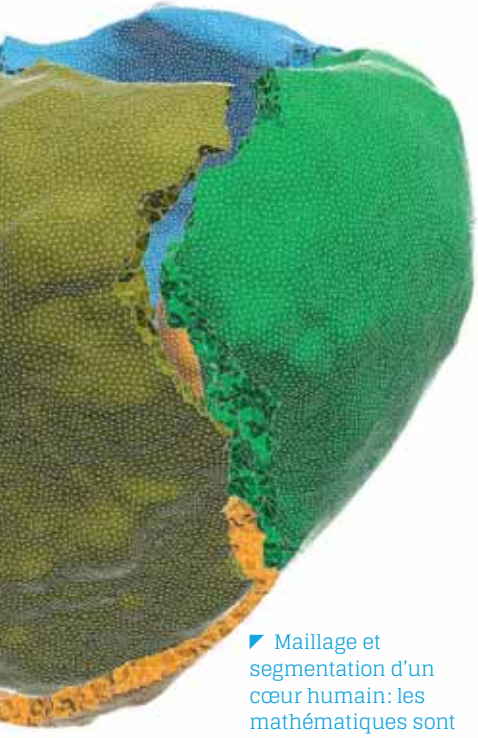
Comment mathématiciens et industriels collaborent-ils ?

M.J.E. : C'est très varié. Les partenariats peuvent être initiés par les industriels comme par les chercheurs. Ils peuvent porter sur la prise en charge complète d'un projet ou amener un complément de compétences afin de résoudre un problème rencontré en phase de R&D. Les grandes entreprises n'hésitent pas à consulter les universités et les écoles en cas de besoin, contrairement aux petites et moyennes entreprises (PME) et aux start-up, peu familiarisées avec ce type d'échanges. En France, l'Agence pour les mathématiques en interaction avec l'entreprise et la société (Amies) va à la rencontre des PME pour leur montrer l'intérêt de travailler avec des mathématiciens. Elle finance ensuite l'amorçage de certains projets. Au travers d'Amies, on essaie surtout de s'adresser aux entreprises par l'exemple, un peu sous forme de vitrine. Illustrer nos travaux par des success stories fonctionne bien auprès des industriels qui pourraient hésiter à se lancer.

Quels sont les contraintes et les avantages de ces collaborations ?

M.J.E. : La temporalité n'est pas la même. Les industriels, surtout les petites entreprises, ont besoin de résultats rapidement, parfois dans les six mois, alors qu'un programme de recherche peut durer quatre ans. Cela s'explique par le fait qu'elles n'ont pas les fonds nécessaires pour investir davantage. Le plus difficile est alors d'estimer si on peut répondre à leur demande. D'autres entreprises peuvent tout de même

1. Maria Esteban travaille au Centre de recherche en mathématiques de la décision (CNRS/Université Paris-Dauphine).
2. https://lejournal.cnrs.fr/articles/les-maths-dopent-leconomie-francaise



Maillage et segmentation d'un cœur humain : les mathématiques sont présentes dans de nombreux domaines, de la médecine à l'aéronautique.

investir à long terme, par exemple lorsqu'elles lancent une nouvelle ligne de production. Au-delà des applications, les entreprises ont besoin de connaître une marge d'erreur précise sur les outils qu'on leur propose, car elles ne peuvent pas se permettre de connaître à peu près les propriétés de leurs produits. Un des avantages à travailler avec un mathématicien est qu'il peut offrir une garantie sur la taille maximale des erreurs des résultats produits par un algorithme.

Comment se situe la France sur ce type de collaboration par rapport aux autres pays ?

M.J.E. : Une étude[2] publiée il y a quelques années a montré l'impact des mathématiques sur l'économie française. Il s'avère que 15 % du PIB est impacté par les maths. Des études similaires ont été menées en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas et en Espagne. L'industrie la plus forte en Grande-Bretagne est la finance alors que les Pays-Bas sont plus impliqués dans l'énergie et l'électronique. Et on constate que malgré des structures industrielles différentes, on retrouve des résultats similaires d'environ 15 % du PIB impacté par les maths dans tous ces pays.

Lire l'intégralité de l'entretien sur **lejournal.cnrs.fr/nos-blogs/de-la-decouverte-a-linnovation**

Au cours de votre carrière, quels exemples de collaborations insolites avez-vous pu observer ?

M.J.E. : En traitement d'images par exemple, les appareils photographiques des Smartphones sont de plus en plus optimaux. Certaines entreprises innovantes ont conçu des méthodes mathématiques permettant de nettoyer l'image même si vous bougez un petit peu au moment de la capture. Des algorithmes très sophistiqués qui agissent instantanément améliorent les couleurs, la netteté des contours, etc. Une autre application industrielle avec beaucoup d'études des fluides, des matériaux et des formes, provient de l'École polytechnique de Lausanne qui a travaillé pour une compagnie spécialisée dans les bateaux de course. Les chercheurs ont travaillé sur un design de voilier totalement nouveau et ont modélisé toutes les propriétés du matériel, de la forme de la coque, des voiles jusqu'à celle des mâts. Résultat : le voilier a gagné plusieurs fois la Coupe America. Dans le cadre de présentations organisées par l'Amies, il y a eu l'exemple d'une entreprise qui développe un airbag pour des motos. Elle était très satisfaite de sa collaboration et de travailler sur un produit à la fois innovant et qui pourra sauver des vies. De façon générale, les mathématiques ont un impact indéniable dans la vie quotidienne mais nous n'en parlons pas suffisamment. Les mathématiques sont partout et pas uniquement pour « embêter » les étudiants à l'école. **II**

À lire

CONQUÊTE SPATIALE

De la chienne Laïka en 1957 aux premiers touristes spatiaux des années 2000, cet ouvrage constellé de splendides photographies, souvent inédites, rend hommage aux défis de la vie dans l'Espace. Tout ou presque est raconté en images dûment légendées, de la coupe d'une pastèque à bord de la station *Mir* aux expériences de croissance de plantes en apesanteur, en passant par les séances de musculation, indispensables lors de vols longue durée. Ce beau livre se conclut sur les projets de retour sur la Lune et de missions sur Mars, avec les vaisseaux, atterrisseurs et bases envisagés, et les expériences de confinement d'équipages déjà réalisées en zones volcaniques.

Vivre dans l'Espace, *Michel Marcelin, éditions E/P/A, juin 2019, 264 p., 35€.*

80 ANS DU CNRS

Édité pour l'anniversaire du CNRS, ce beau livre est une porte d'entrée vers les « nouveaux mondes » érigés par les scientifiques depuis 1939. De la connaissance intime de la matière à celle des phénomènes climatiques, de l'enquête sur les origines de l'Univers à celle de la vie sur Terre, de la compréhension de nos sociétés à celle de notre cerveau, les défis posés à la recherche se sont transformés au fil des décennies sans rien perdre de leur gigantisme. Réunis sous la houlette de l'historien Denis Guthleben du Comité pour l'histoire du CNRS, des experts de tous les domaines vous invitent ici à les découvrir au travers de 80 textes accessibles et élégamment illustrés, retraçant le parcours du navire amiral de la recherche française, en lien avec tous ses partenaires, et donnant à voir l'œuvre collective des chercheuses et des chercheurs à son bord depuis sa création.

Sciences. Bâtir de nouveaux mondes, *Denis Guthleben (dir.), septembre 2019, CNRS Éditions, 224 p., 24 €.*

Le 19 octobre 1939, le CNRS était créé. Pour ses 80 ans, l'historien Denis Guthleben nous fait le récit de l'histoire de l'organisme. Cet avant-dernier épisode nous emmène au cœur des années Mitterrand, marquées par l'ambition politique de donner plus de moyens aux chercheurs.

© J.-R. PETIT/CNRS PHOTOTHÈQUE

Le CNRS, 80 ans d'histoire
3/4

1980–1999 Le CNRS, navire amiral de la recherche

© N. LAMBERT/CNRS IMAGES

Par Denis Guthleben, attaché scientifique au Comité pour l'histoire du CNRS et rédacteur en chef de la revue *Histoire de la recherche contemporaine.*

Dans l'épisode précédent, nous avions laissé le CNRS au milieu du gué, en 1979. L'année a marqué le Centre du point de vue scientifique – avec, parmi de nombreux exemples, la reconnaissance des recherches sur l'environnement dans un programme interdisciplinaire spécifique, le PIREN. Mais elle a pesé sur son fonctionnement aussi : pour la première fois, le budget du CNRS est en baisse, à la suite d'une diminution de la dotation de l'État. Il ne s'agit alors que d'un incident de parcours, découlant autant d'aléas externes – les relations sont mauvaises avec le ministère des Universités d'Alice Saunier-Seïté – qu'internes – à la tête du CNRS, la fonction de directeur administratif est jugée trop influente au point d'empiéter sur les prérogatives du directeur général, avant d'être remplacée par celle de secrétaire général. Cuisine interne ? Bien sûr, mais

1984 : le glaciologue Claude Lorius, avant son départ pour Vostok. Cet aventurier de l'Antarctique a reçu avec Jean Jouzel la médaille d'or du CNRS en 2002.

au-delà d'agiter la communauté, l'épisode a attiré l'attention des médias : sur Antenne 2, une journaliste essaie tant bien que mal de rendre compte de la crise, avant de prophétiser que bientôt *« le pouvoir au sein du CNRS passera des mains des technocrates aux mains des scientifiques »*. Vaste programme, toujours recommencé !

Si ce programme-là n'a pas laissé un souvenir indélébile, c'est qu'un autre est en préparation et va rapidement l'éclipser : celui de François Mitterrand. Après le Front populaire ou la décennie gaullienne, qui en doutera encore ? La recherche n'est pas un vase clos : elle découle aussi d'une ambition politique, qui peut la porter très haut à condition de s'en donner la peine et les moyens – et l'on a presque envie d'ajouter ici : à bon entendeur… Toujours est-il que cette ambition-là, le candidat socialiste à la présidentielle de 1981 semble la nourrir : tout au long de sa campagne, il multiplie les engagements en faveur d'une communauté scientifique qui, depuis la fin des années 1970, s'estime maltraitée par le pouvoir. *« Chercheurs français, retrouvez confiance : au temps du mépris, je substituerai le temps du respect et du dialogue »*, annonce encore l'homme à la rose quelques jours avant le premier tour du scrutin qui le conduit à la tête du pays. Et, c'est assez rare pour ne pas manquer de le souligner, les promesses sont tenues après l'élection…

Une priorité nationale

D'emblée, un grand ministère de la Recherche et de la Technologie est créé, dont le premier titulaire, Jean-Pierre Chevènement, a rang de ministre d'État. Dans la foulée, une vaste consultation de la communauté est organisée, des « assises de la recherche » sur tout le territoire, dont la synthèse est opérée lors d'un colloque national qui se tient à Paris, en présence du président de la République, en janvier 1982. Et ce remue-méninges débouche, le 15 juillet, sur la première loi d'orientation et de programmation de l'histoire de la recherche en France, qui annonce dès son article initial que *« la recherche scientifique et le développement technologique sont des priorités nationales »*.

Le CNRS, de plus en plus souvent présenté dans la presse comme *« le navire amiral de la recherche française »*, est à la pointe du mouvement. Des transformations apparaissent d'abord dans ses statuts, ceux de l'organisme aussi bien que des personnels qu'il regroupe : en devenant un établissement public à caractère scientifique et technologique, le CNRS bénéficie de dérogations dans sa gestion et son administration, qui concourent en principe à assouplir son pilotage ; ses personnels, eux, en vertu de la loi de 1982 et de son décret d'application de 1984, deviennent titulaires de la fonction publique.

N'en déplaise alors à quelques Cassandre, cette « fonctionnarisation » n'a pas fait basculer les scientifiques dans l'oisiveté. Ils s'investissent au contraire dans les « programmes nationaux mobilisateurs » qui sont définis en marge de la loi, tant pour les recherches fondamentales (noyaux et particules, astrophysique, connaissance de la terre et de l'atmosphère, etc.) que dans des champs plus finalisés (agroalimentaire, transports, robotique…). Ces actions sont aussi déclinées, au sein du CNRS, dans de nouveaux programmes interdisciplinaires : le PIRSEM pour l'énergie et les matières premières, le PIRO pour la connaissance des océans, le PIRMED pour les médicaments, le PIRMAT pour les matériaux…

Au-delà de ces initiatives transversales, la création des départements scientifiques vient structurer l'action du CNRS dans toutes les disciplines. À la fin des années 1980, l'établissement compte sept départements : physique nucléaire et corpusculaire, sciences de l'Univers (adossés l'un et l'autre à des instituts nationaux), mathématiques et physique de base, sciences pour l'ingénieur, chimie, sciences de la vie et sciences humaines et sociales, dont le découpage et l'appellation évolueront encore par la suite.

© LOSANGE PHOTO/FONDS HISTORIQUE/CNRS PHOTOTHÈQUE

1989 : François Mitterrand, président de la République, lors de la célébration des 50 ans du CNRS, entouré de Hubert Curien (à gauche), ministre de la Recherche et de l'Espace, et de François Kourlisky, directeur général du CNRS.

Bien sûr, ces années 1980 n'ont pas été qu'un long fleuve tranquille : si le CNRS en particulier et la recherche en général ont été relativement épargnés par le « tournant de la rigueur », le navire a tout de même tangué pendant la première cohabitation – avec l'interruption des travaux du comité national et l'invalidation des concours de recrutement, un imbroglio qui a empoisonné la vie du Centre pendant plusieurs mois… Mais de formidables enjeux ont éclos au fil de ces années, qui continueront de marquer la décennie suivante. Impossible, bien sûr, d'en faire le catalogue dans tous les domaines de recherche, établis ou émergents ! Chaque discipline mériterait au bas mot plusieurs volumes, pour que le rôle de chacun des 26 000 employés que regroupe le CNRS en 1990 – 11 000 chercheurs et 15 000 ingénieurs, techniciens et administratifs – soit reconnu à sa juste valeur…

Mais le maître mot qui paraît trôner au pinacle des années 1990 est celui d'ouverture, qui se manifeste tous azimuts. Ouverture internationale, bien sûr : si les relations extérieures ont toujours marqué l'histoire du CNRS, c'est au cours de cette période que l'ensemble des indicateurs, de la plus simple mission scientifique aux programmes internationaux plus étoffés, en passant par le nombre de copublications, enregistre un bond colossal. Et, dans cette perspective, impossible de ne …

... pas mentionner l'horizon européen : sans se mettre à sauter sur sa chaise comme un cabri, force est de constater, après les années 1980 qui ont vu la recherche pénétrer au cœur des préoccupations communautaires au travers de grands programmes – le premier PCRD, mais aussi Esprit, Brite, Race, Eureka, etc. –, qu'au fil des années 1990 le CNRS a été à la pointe de « l'espace scientifique et technique européen », rebaptisé « espace européen de la recherche » en 2000.

Déploiement en région

Ouverture croissante vers les autres partenaires de la recherche, aussi, à commencer par les universités : c'est dans ce cadre que naissent en particulier, dans le prolongement des laboratoires associés, les unités mixtes de recherche qui connaissent un succès croissant dans les années 1990 – au milieu d'une jungle de sigles, UMR, Upresa, URA, etc. qui ne facilite pas la compréhension des néophytes, ni celle des initiés d'ailleurs ! Ouverture vers les régions, encore, dans un même élan : né au cœur de la capitale, demeuré longtemps surtout francilien, le CNRS recrute désormais plus « en régions » qu'autour de Paris. Le basculement s'est opéré dès le milieu des années 1980, dans le prolongement des lois « Defferre »[1] de décentralisation, et pouvait s'appuyer au CNRS sur un mouvement de structuration territoriale : aux administrations déléguées créées dans les années 1970 succèdent en 1990 de solides « délégations régionales » qui ont été renforcées depuis – et pour les puristes qui verront là une horrible confusion entre déconcentration et décentralisation, on rappellera que la lettre de mission des premiers délégués insistait sur la prise en compte des « réalités du terrain », que l'administration centrale, malgré sa sagesse proverbiale, pouvait méconnaître.

L'« administration centrale », justement... dans ce tour d'horizon très bref de vingt années intenses de l'histoire du CNRS, on s'autorisera à lui dédier quelques lignes : dispersée jusqu'alors à travers la capitale, elle se regroupe sur un site unique, rue Michel-Ange dans le XVIe arrondissement parisien, réunissant départements, directions et services. Le nouveau campus a été inauguré le 12 octobre 1993, en présence de Hubert Curien[2], ancien directeur général du CNRS et mémorable ministre de la Recherche, et de celui qui vient de lui succéder rue Descartes à la faveur de la deuxième cohabitation, François Fillon. Sans doute n'était-il pas superflu de regrouper ainsi les forces du CNRS, à la veille d'un nouveau siècle qui va voir notre paysage scientifique profondément transformé ? **II**

Sciences. Bâtir de nouveaux mondes, *édité pour l'anniversaire du CNRS et dirigé par Denis Guthleben est en librairie (lire p. 57), septembre 2019, CNRS Éditions, 224 p., 24 €.*

À suivre

Le 4e et dernier épisode de l'histoire du CNRS est à retrouver dans le prochain numéro du journal.

1986 : Nicole Le Douarin, ici dans son laboratoire à l'Institut d'embryologie, reçoit la médaille d'or du CNRS.

© CNRS PHOTOTHÈQUE/INSTITUT D'EMBRYOLOGIE

© A. GONIN/CNRS PHOTOTHÈQUE

1998 : le robot autonome d'exploration planétaire EVE s'entraîne sur le terrain d'essais du Groupement d'essais en robotique mobile spatial.

1. Gaston Defferre, homme politique français, ministre d'État, ministre de l'Intérieur et de la Décentralisation des gouvernements Pierre Mauroy (1981-1984), puis ministre d'État chargé du Plan et de l'Aménagement du territoire du gouvernement Laurent Fabius (1984-1986). 2. Cristallographe français, ministre de la Recherche et de la Technologie de 1984 à 1986 puis de 1988 à 1993, il a dirigé le CNRS de 1969 à 1973.

DR

Les terres rares, et après ?

Par Michel Latroche, directeur de recherche CNRS[1].

© P.L SITTLER/REA

Indispensables au développement de nos technologies de pointe mais inégalement réparties sur la planète et difficiles à produire, les terres rares sont devenues une source de tensions géopolitiques et économiques. La chimie peut répondre à ces enjeux en découvrant des matériaux de substitution ou en concevant des procédés efficaces de recyclage de ces métaux.

Improprement appelés terres rares, les lanthanides sont en fait aussi abondants que d'autres métaux, comme le nickel ou le cuivre, mais beaucoup plus dispersés. Découverts entre la fin du XVIIIe siècle et le début du XIXe siècle par des chimistes suédois, allemands et français, ils ont alors été considérés comme rares parce que leurs minerais paraissaient peu abondants, assez dispersés et leurs métaux difficiles à séparer. Il aura fallu plus d'un siècle pour mettre au point des procédés d'extraction et apprendre à exploiter leurs propriétés chimiques, physiques et électroniques exceptionnelles, essentiellement dues à la configuration électronique particulière de leurs atomes.

Revoir l'approvisionnement

Aujourd'hui les métaux rares sont utilisés partout : des moteurs électriques, aux générateurs d'éoliennes en passant par les appareils d'imagerie médicale, les pots catalytiques… Toutefois, les conditions d'exploitation et de production des terres rares sont sujettes à controverse. Les propriétés chimiques des lanthanides sont très proches ce qui rend difficile leur séparation. Les méthodes utilisées aujourd'hui font appel à des procédés complexes – extraction liquide-liquide, résines échangeurs d'ions, etc. – et notoirement polluants : rejets d'acides, de bases, de solvants, de métaux lourds ou de déchets radioactifs.

Mais l'intérêt stratégique de ces éléments pousse dirigeants et industriels à repenser les modes d'approvisionnement de ces métaux et à leur chercher des produits de remplacement. Différentes pistes sont explorées pour produire de façon moins polluante et s'affranchir des fluctuations de prix sur les marchés.

Nos sociétés produisent des montagnes de déchets technologiques contenant des terres rares. Leur recyclage peut se révéler une alternative à l'exploitation minière.

Matériaux de substitution

La première consiste à développer les recherches dans le domaine de la chimie du solide afin de mettre au point de nouveaux matériaux pouvant se substituer à ceux contenant des terres rares. Des travaux ont déjà montré qu'en nanostructurant des particules contenant des éléments simples et largement disponibles comme le fer, le cobalt et le carbone, il est possible d'obtenir des propriétés magnétiques rivalisant avec celles d'aimants permanents élaborés à partir de métaux rares. L'objectif de réduction de l'utilisation des terres rares est également à portée de main pour d'autres fonctions comme la catalyse. En développant de nouveaux catalyseurs bimétalliques à base d'éléments de transition ou pour les accumulateurs alcalins, on peut concevoir de nouveaux matériaux sans terres rares, plus légers et résistant bien à la corrosion.

La seconde piste est celle du recyclage des objets existants pour récupérer les précieux éléments qu'ils contiennent. Ainsi, des industriels européens et japonais se sont lancés dans des filières de valorisation en recyclant les aimants permanents contenus dans nos produits high-tech (disques durs d'ordinateurs, haut-parleurs, petits moteurs électriques) mais également pour d'autres filières comme les batteries nickel-métal hydrure (NiMH), les lampes à fluorescence ou encore les poudres de polissage des verres.

Enjeu considérable sur le plan technologique, c'est aussi une voie prometteuse pour s'affranchir des gisements miniers et de leurs contraintes géographiques et environnementales. Mais des recherches fondamentales devront être menées pour permettre les avancées nécessaires à cette révolution dans le domaine des matériaux et nous permettre de continuer à développer des technologies pointues, respectueuses de l'environnement et utiles à nos sociétés modernes. **II**

Libération

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

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

1. Michel Latroche de l'Institut de chimie et des matériaux Paris-Est (CNRS/Université Paris-Est-Créteil Val-de-Marne) est membre du bureau exécutif du GdR HySPàC, membre expert auprès de l'International Energy Agency et chargé de mission pour l'INC auprès de l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie.

La communication
au cœur des connaissances

© J.-S. EVRARD

SOCIÉTÉS

Sociologie. À l'ère du numérique triomphant et dans un monde globalisé, Dominique Wolton prône une conception de la communication qui privilégie l'homme sur la technique, la démocratie sur l'économie, et dans laquelle les scientifiques ont leur rôle à jouer.

PROPOS RECUEILLIS PAR STÉPHANIE ARC

« L'information et la communication au cœur des connaissances » : voici le thème du colloque organisé au CNRS le 10 septembre par la revue *Hermès*. Pourquoi ce choix ?

Dominique Wolton[1] **:** Cette journée est d'abord symbolique : elle rappelle que sur les 80 ans d'existence du CNRS, il y a eu 40 ans de recherches sur l'information et la communication. Pourtant, cette question n'est, à mon avis, pas suffisamment prise en compte dans la recherche, parce qu'elle est dévalorisée : la communication est souvent associée à la manipulation et l'information de plus en plus aux fake news. Ces deux concepts sont pourtant centraux pour penser les évolutions du XXIe siècle : premièrement, avec le développement du numérique, on produit beaucoup plus d'informations qu'autrefois, et l'interactivité est beaucoup plus rapide. Cela a des conséquences sur le travail des chercheurs et on peut réfléchir aux avantages et aux inconvénients de ce monde saturé d'informations pour la production des connaissances. Deuxièmement, il s'agit d'interroger les conditions d'échange de ces informations, autrement dit la communication. Parce qu'elle implique une relation entre êtres humains, celle-ci est en effet plus complexe que l'information, qui est un message. S'il suffisait d'informer pour communiquer, on le saurait…

L'interdisciplinarité est elle-même une forme de communication « au cœur des connaissances »

D.W. : L'interdisciplinarité est le plus bel exemple de la communication, parce qu'elle oblige des chercheurs de différentes disciplines à se rapprocher alors qu'ils n'ont pas les mêmes cultures, valeurs, méthodes, et qu'ils sont même parfois en désaccord. Or c'est justement ainsi que se passe la communication : d'abord on essaie de se comprendre, la plupart du temps on bute sur l'incommunication, puis on se met à négocier pour trouver un terrain d'entente. Soit la négociation réussit et on cohabite, soit elle échoue et c'est l'acommunication. Le concept de communication comprend donc ces trois dimensions : partage, négociation, échec. Réussir à cohabiter est ce qu'il y a de plus difficile : l'incommunication et la négociation représentent l'essentiel de notre vie privée, publique, politique, et… scientifique. Quelle que soit la diversité des disciplines, elles doivent apprendre à travailler ensemble.

En quoi ces concepts éclairent-ils aussi les nouvelles relations entre sciences et société ?

D.W. : C'est encore une question de négociation et de cohabitation. C'est en étant « dans le monde » que les scientifiques peuvent contribuer aux progrès des

1. Dominique Wolton, directeur de recherche au CNRS, dirige la revue internationale *Hermès* (CNRS Éditions).

sociétés. Actuellement, il y a d'une part une responsabilité politique des sciences et de l'autre, des demandes formulées par la société – sur le réchauffement climatique, les OGM… Alors oui, il faut inciter les scientifiques à intervenir dans l'arène sociale, mais il n'est pas question non plus qu'ils ne fassent que suivre les demandes de la société, ils doivent garder leur indépendance. Il faut donc préserver une négociation constante entre le calme de la recherche et l'espace public.

La situation internationale montre aussi l'urgence de mieux communiquer…

© GANDINI/STOCK.ADOBE.COM

D.W. : Si les techniques et les messages sont mondiaux, les cultures, elles, ne le sont pas : il y a un décalage irréductible entre la diversité culturelle et le caractère mondial des outils numériques. Bien qu'il soit globalisé d'un point de vue économique et financier, le monde peut succomber aux communautarismes politiques, religieux et culturels. Et la technique ne peut pas grand-chose contre les violences identitaires. L'exemple de l'Europe prouve au contraire que seule la politique peut éviter cette dérive. Avec vingt-quatre langues officielles, vingt-huit pays, 500 millions d'habitants d'accord sur rien, l'Europe est un espace où tout le monde se parle sans forcément se comprendre. Et pourtant, ça marche ! Malgré l'annonce systématique de son échec.

C'est pourquoi, il faudrait par exemple valoriser l'apprentissage d'autres langues européennes que la sienne, ouvrir sur l'histoire des civilisations, insister sur les traditions et les relations entre l'Europe et le reste du monde, mais aussi travailler davantage sur les sujets d'incommunication : migrations, solidarité intra-européenne, diplomatie… afin de mieux se respecter et peut-être de cohabiter un peu plus. Il est indispensable de prendre en compte les diversités culturelles et historiques dans les négociations si l'on veut éviter qu'elles ne deviennent des facteurs de conflit et de haine. **II**

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

À lire

PAROLES DE CHERCHEURS

Onze personnalités scientifiques, lauréates de la médaille d'or du CNRS, s'expriment sur leur domaine de recherche dans cette collection de livres courts, également disponibles en livre audio. Chacun des chercheurs se confie sur son parcours, son ressenti et l'évolution de sa discipline au fil des années. Gérard Berry conte ainsi avec passion comment l'informatique a changé nos vies, Jean Jouzel nous éclaire sur les climats passés et futurs, et Nicole Le Douarin nous initie aux secrets de la vie. N'hésitez pas à prêter l'oreille !

Les Grandes Voix de la recherche, *CNRS Éditions / De Vive Voix, 96 p., 8 €.*

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Changement climatique, pollution, érosion de la biodiversité… Face à ces crises sans précédent, les recherches en ingénierie se parent de vert pour concevoir des bâtiments durables, des matériaux biosourcés, optimiser notre consommation d'énergie, atténuer l'impact environnemental des technologies de l'information ou aboutir à une gestion durable des ressources naturelles. Dans cet ouvrage accessible, dirigé par des membres de la direction de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS, une centaine de scientifiques dressent un état des lieux des recherches, chacune d'entre elles constituant un espoir d'améliorer l'empreinte écologique de l'humanité.

Inventer l'avenir. L'ingénierie se met au vert, *Martine Meireles-Masbernat, Laurent Nicolas, Abdelilah Slaoui (dir.), Martin Koppe (coord. éd.), août 2019, CNRS Éditions, 240 p., 22 €.*

TECHNOLOGIES

Comme son titre l'indique, cet ouvrage nous propose de découvrir ce que les avancées techniques et scientifiques vont changer à notre quotidien et à la société dans son ensemble ; qu'il s'agisse d'éducation, de médecine, d'écologie, etc. Enthousiaste mais s'efforçant d'éviter le sensationnalisme transhumaniste, la journaliste Fabienne Chauvière s'est appuyée sur ses entretiens radiophoniques avec des chercheurs actifs et reconnus par leurs pairs comme l'éthologue Guy Théraulaz, l'astrophysicien Jean-Philippe Uzan et bien d'autres pour nous éclairer sur ce que la science promet vraiment.

Les Promesses de la science. Ces nouvelles découvertes qui pourraient changer votre vie, *Fabienne Chauvière, éditions Flammarion-France Inter, Août 2019, 296 p., 20 €.*

Isabelle Viaud-Delmon, directrice de recherche dans l'équipe Espaces acoustiques et cognitifs[1]

"Je me souviens…

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

… de l'intensité et de l'ébullition intellectuelles qui ont accompagné ce projet de recherche. C'était en 2008, dans le cadre des actions FET Open, programme européen sur les technologies futures et de rupture. Nous cherchions à lever un verrou bien précis de la réalité virtuelle : la mise en espace des sons dans un environnement virtuel visuel. Cubophobia, contrairement à son nom, n'ambitionnait pas d'apaiser certaines peurs, mais voulait recréer une plateforme de démonstration pour un jeu dans un univers médiéval[2]. Ici, Clara Suied, à l'époque post-doctorante, est équipée de lunettes, d'un capteur de position de la tête placé sur les écouteurs audio et, dans les mains, d'un capteur pour contrôler les mouvements de la balle. La grande difficulté était de parvenir à mettre à jour en temps réel le visuel et l'auditif en respectant les lois de la physique. Finalement, nous avons dû réduire l'étendue des problèmes que posait notre expérience et nous nous sommes attachés à reproduire, avec succès, le lancer d'une balle… sur des boîtes de conserve."

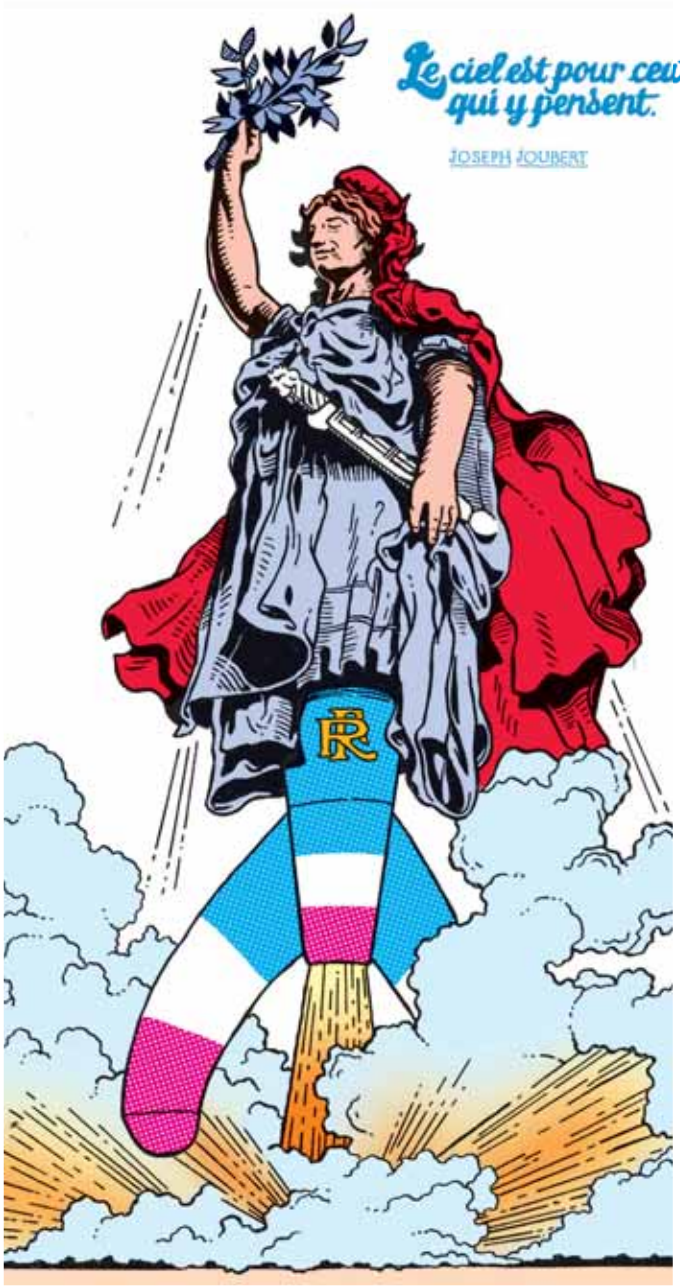
PHOTO : FRANÇOIS VRIGNAUD/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. Laboratoire des Sciences et technologies de la musique et du son (CNRS/UPMC/Ministère de la Culture/Sorbonne Université/Ircam). 2. Développé par l'Université de Vienne, en Autriche.

Le compte à rebours est lancé !

Où l'on apprend que la grand-mère d'*Ariane* s'appelle *Véronique*.

Notre historien chroniqueur Denis Guthleben laisse cette année la place… à des faits marquants de l'histoire de l'organisme. L'occasion de découvrir l'origine des premières fusées françaises.



8 septembre 1944, Maisons-Alfort près de Paris. Au matin, une énorme explosion détruit tout un quartier et fait une vingtaine de victimes. Une équipe menée par le chimiste Henri Moureu se rend sur place.

Là, elle constate que l'explosion n'est pas due à une bombe ordinaire. Et puis, personne n'a entendu d'avion passer avant l'explosion ! En fait, ce qui a frappé la ville est un missile autopropulsé, un engin redoutable qui peut parcourir des centaines de kilomètres : un V2.

Les mois suivants, Moureu se rend en Allemagne vaincue afin d'étudier ces nouveaux engins : les fusées. Il revient convaincu que c'est une technologie d'avenir et crée alors le Centre d'étude des projectiles autopropulsés, le Cepa, au sein duquel travaillent des experts du CNRS. Dans le même temps, la recherche militaire met au point une copie française du V2, la fusée *Véronique.*

Mais, la guerre terminée, l'armée se désintéresse du sujet. *Véronique* reste utilisée par le CNRS pour mener des expériences en haute atmosphère. Quand, en 1957, les Russes lancent leur premier satellite, le monde se jette dans la course à l'espace. La France peut alors capitaliser sur ses premières recherches de fusées sondes autopropulsées. Merci *Véronique* ! II

Retrouvez avec Science tips cette anecdote et bien d'autres, sur le site des 80 ans du CNRS
» **80ans.cnrs.fr**

© ILLUSTRATION : S. TRAPIER

RETROUVEZ
LE CNRS À
SPORT
UNLIMITECH
MATMUT STADIUM
PALAIS DES SPORTS
19-20-21 SEPT.
LYON GERLAND
YANNICK NOAH, CAROLINE GARCIA,
THIERRY DUSAUTOIR, SIRABA DEMBÉLÉ,
ÉRIC ABIDAL, MALIA METELLA,
FRÉDÉRIC MICHALAK, SÉBASTIEN LOEB,
STÉPHANIE GICQUEL, JEAN-MICHEL AULAS...
SAMEDI
21 SEPTEMBRE
JOURNÉE
GRAND PUBLIC
ENTRÉE
GRATUITE
CONFÉRENCES | DÉMOS | EXPOSITIONS | E-SPORT
INSCRIPTIONS SUR :
www.sportunlimitech.com
VILLE DE LYON
GRANDLYON
La Région
Auvergne-Rhône-Alpes
France fr
cnrs
&
Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes
PARIONS SPORT
vivendi
bpifrance
INSTITUT
OUI
Veepee
Inria
Inserm
INRA
INSEP
L'EQUIPE
Le Point
RMC SPORT
LE FIGARO

#FORUMCNRS

NOUVEAU(X) MONDE(S)

LE FORUM CNRS

#RÉPARER
#RÉINVENTER
#RÉENCHANTER

CITÉ DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE
GROUND CONTROL
PARIS

25-27 OCTOBRE 2019

ENTRÉE LIBRE
SUR INSCRIPTION
leforum.cnrs.fr

cnrs & Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes | universcience | cité sciences et industrie | GROUND CONTROL libres & curieux | SOLVAY | casden

© Bertrand Rabiere/IDCM/CNRS Photothèque