



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes

CNRS

LE JOURNAL

Trimestriel n° 296 PRINTEMPS 2019



**AU PIC DU MIDI,
la tête
dans
les étoiles**

**Où va
l'Europe
de la
recherche ?**

**La première
image
d'un trou noir
dévoilée**

**Une nouvelle
stratégie
internationale
pour le CNRS**

cité
sciences
et industrie

robots
exposition
permanente



M - Porte de la Villette
cite-sciences.fr
#ExpoRobots

En partenariat avec



En collaboration avec

Inria

Avec le soutien de

ANRS | ESPACE | PANJOL | KUKA | Institut Pasteur | MUSEUM | Institut de France

Paris

Le Monde | L'Espresso | L'Express | Le Figaro | Futura | Le Monde.fr

**En 2019, le CNRS
célèbre ses 80 ans**

Retrouvez l'agenda des événements et toute
l'actualité de cet anniversaire sur :

80ans.cnrs.fr



Depuis 80 ans, nos connaissances
hâtissent de nouveaux mondes.

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 53 88**E-mail :** lejournald@cnrs.fr**Le site Internet :** <https://lejournald.cnrs.fr>**Anciens numéros :**<https://lejournald.cnrs.fr/numeros-papiers>**Directeur de la publication :**

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Brigitte Perucca

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

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 :

Anne-Sophie Boutaud, Anaïs Culot,

Grégory Fléchet, Mathieu Grousson,

Denis Guthleben, Gaël Hautemulle,

Romain Hecquet, Sophie Hérial, Martin Koppe,

Vahé Ter Minassian, Philippe Testard-Vaillant,

Jean-Baptiste Veyrieras, 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 :
» lejournald.cnrs.fr/abojournal

En couverture :

La coupole Gentilly abrite le télescope T1m
à l'Observatoire du pic du Midi.PHOTO : H. RAGUET/DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE DE L'ENS/
OBSERVATOIRE DE PARIS/OBSERVATOIRE MIDI-PYRÉNÉES/
CNRS PHOTOTHÈQUE

Q

uelle image ! Le 10 avril 2019, les scientifiques ont révélé la première observation directe d'un trou noir, au centre de la Galaxie M87, une première extraordinaire due au consortium de l'Event Horizon Telescope (EHT). Au-delà du rêve de tous les amateurs de science-fiction, cette image inédite est compatible avec le cadre de la relativité générale d'Einstein. En outre, elle correspond à ce que les simulations, notamment celles de Jean-Pierre Luminet, directeur de recherche CNRS, suggéraient il y a bientôt quarante ans !

Les preuves formelles de la présence de trous noirs supermassifs au centre des galaxies se heurtent à la compacité de ces objets dont l'imagerie nécessite des résolutions qu'un instrument terrestre, limité par sa taille, ne peut offrir à lui tout seul. En reliant entre elles des antennes millimétriques séparées de plusieurs milliers de kilomètres, l'EHT a réalisé un interféromètre virtuel « planétaire » qui a permis de reconstruire les images de M87* à très haute résolution. Deux de ces antennes sont de très grandes infrastructures de recherche auxquelles la France participe via le CNRS : l'Atacama Large Millimeter Array au Chili et l'Institut de radioastronomie millimétrique, dont le CNRS fut l'un des deux créateurs en 1979. Leur contribution à l'EHT a été essentielle en raison de leur emplacement et de leur extrême sensibilité. Cette observation ouvre la voie à l'étude de ce type d'objet avec une résolution angulaire inédite dans le domaine millimétrique.

L'EHT est complémentaire d'un autre instrument interférométrique installé sur le Very Large Telescope de l'Observatoire européen austral (ESO), au mont Paranal, également au Chili, opérant dans l'infrarouge proche et dans lequel le CNRS, via

l'Institut national des sciences de l'Univers (Insu), a une forte implication : Gravity. Cet instrument a récemment pu dessiner le contour du trou noir supermassif SgrA* au centre de notre Galaxie ; il a également validé le ralentissement du temps prédit par Einstein dans son environnement.

Ces observations sont emblématiques de découvertes rendues possibles par les grandes collaborations internationales et les grands équipements de recherche. Elles soulignent aussi l'importance des investissements lourds de la recherche publique pour figurer au meilleur niveau de la science mondiale, notamment astronomique. Nul doute que de fantastiques découvertes nous attendent encore grâce à ces outils et aux scientifiques qui les rêvent et les utilisent.

Nicolas Arnaud,
directeur de l'Institut national
des sciences de l'Univers



© C. FRESILLON/CNRS PHOTOTHÈQUE



© P. JAVET

GRAND FORMAT

11

Europe : l'Union fait la recherche	12
Au pic du Midi, la tête dans les étoiles	24
Coquillages, les sentinelles des océans	30



© C. MAUFRIO/SCIENCES PO

Patrick Le Galès,
penser la ville

6

EN PERSONNE 5

Danielle Pierre : « Je me suis lancée dans la construction d'un Meccano géant »	8
--	---



© THE BIF COLLABORATION

Un trou noir
sort de l'ombre

38

EN ACTION 37

L'agriculture croît dans les mathématiques	40
Jean-Luc Moullet : « Faciliter le lien direct entre invention et innovation »	42
L'Internet des objets doit mieux s'alimenter	46
Une nouvelle espèce humaine découverte aux Philippines	47
Matière et antimatière, les liaisons mystérieuses	48
Zinder renoue avec son passé	50
Une nouvelle stratégie internationale pour le CNRS	52
Les ondes mises sous contrôle	54



© JULIEN BIL/ROGER-VOLLET

Le CNRS,
80 ans d'histoire 2/4

56

LES IDÉES 55

Robots, ces machines incomprises	59
Chercheurs et artistes : la curiosité en partage	60
Baisse de TVA : une fausse bonne idée ?	62

CARNET DE BORD

Stéphane Jaillet, nous raconte un souvenir de recherche 64

IL ÉTAIT UNE FOIS LE CNRS

Un géant à Meudon 66

EN PERSONNE



*À la rencontre d'un globe-trotteur
géographe des métropoles et
d'une passionnée de la matière,
architecte d'un tube géant.*

ILLUSTRATION : MAX LÖFFLER POUR CNRS LE JOURNAL

Patrick Le Galès, penser la ville

PAR LAURE CAILLOCE

Sociologie. Chercheur au Centre d'études européennes, médaille d'argent du CNRS en 2018, ce sociologue et politiste est une figure de proue des études comparatives entre villes, régions et États d'Europe. Rencontre avec un passionné des grandes métropoles.

C'est un pur produit de la méritocratie républicaine à la française, originaire de Saint-Brieuc où il reste jusqu'au baccalauréat, entré ensuite à Sciences-Po à Paris. Après un DEA de sociologie à Nanterre, il décroche une bourse franco-britannique pour partir faire une partie de sa thèse de sociologie à Oxford. « Ça a changé ma vie », raconte Patrick Le Galès, qui attrape durant ces trois années le virus des études comparatives, alors peu développées en France. Sous la direction de Vincent Wright, l'un des premiers chercheurs comparatistes sur les politiques publiques en Europe, il met en parallèle centralisation britannique et décentralisation française et compare les modes de gouvernance des villes et les classes sociales. Pendant toute sa carrière, il n'abandonnera d'ailleurs jamais son tropisme comparatif avec le Royaume-Uni.

Si toutes les échelles l'intéressent – régions, États, Europe... – ce sont les villes qui deviennent rapidement son terrain de jeu favori, alors qu'il poursuit sa carrière à Sciences-Po Rennes, puis au Centre de recherches politiques de Science-Po (Cevipof)¹ où il entre en 1998. « Depuis les années 1980, les villes européennes commencent à pas mal bouger et à organiser leur développement urbain, économique, culturel..., explique Patrick Le Galès. On a assisté à une montée des expertises, mais aussi des ressources, au niveau des municipalités, assez loin du modèle qui prévalait jusque-là où c'était les services de l'État qui organisaient la cité. »

Le retour des grandes villes

Dopées par la mondialisation dont elles profitent à plein, les grandes métropoles et les capitales régionales connaissent un remarquable essor. Elles attirent les classes moyennes et supérieures éduquées, les jeunes et les migrants et concentrent les nouveaux métiers liés au développement de l'économie (technologie, service, finance...) et à la connaissance. Un dynamisme qui ne s'est pas démenti depuis, mais qui était pourtant loin d'être une évidence. « Dans les années 1970, les villes étaient en

crise, rappelle Patrick Le Galès, dont le livre sur *Le Retour des villes européennes* est devenu un classique des sciences sociales comparées². *New York était en faillite, Berlin était occupée par les squatteurs, Londres perdait des habitants... On pensait que les grandes villes étaient fichues et que les gens allaient s'en détourner au profit des villes moyennes; c'est l'inverse qui s'est produit. »*

Et le phénomène va en s'accéléralant. « On assiste à un renforcement des villes comptant entre 1 et 5 millions d'habitants partout dans le monde et à la création de mégapoles de plus de 15 millions d'habitants – au nombre de 15 aujourd'hui, elles pourraient être 60 demain », raconte Patrick Le Galès. S'ils jouent un rôle clé, les intervenants publics – États, régions, municipalités – sont loin d'être les seuls acteurs de ce développement. « Les promoteurs immobiliers, les entreprises, les sociétés de transport, les associations de riverains qui peuvent s'opposer à certains projets jouent aussi un rôle. Et dans certaines villes, les gangs gèrent des quartiers entiers », rappelle le chercheur. À Mexico, le très dynamique quartier d'affaires de Santa Fe est ainsi né sur une ancienne décharge par la seule volonté d'un promoteur immobilier.

Ses dates clés

- 1964** Naissance à Lamballe (Côtes-d'Armor)
- 1989** Thèse de sciences politiques à l'Université d'Oxford, au Royaume-Uni
- 1991** Thèse de sociologie à Paris-X Nanterre
- 1992** Recruté par le CNRS au Centre de recherche sur l'action politique en Europe (Sciences-Po Rennes)
- 1995** Médaille de bronze du CNRS
- 1998** Rejoint Sciences-Po (Cevipof puis CEE)
- 2011** Élu Corresponding Fellow of the British Academy
- 2018** Médaille d'argent du CNRS

“Au nombre de 15 aujourd’hui, les mégapoles de plus de 15 millions d’habitants pourraient être 60 demain.”



© C. MAUPROUD/SCIENCES-PO

En plus du Centre d’études européennes et de politique comparée (CEE)³ qu’il a contribué à fonder en 2009, Patrick Le Galès a créé en 2015 l’École urbaine de Sciences-Po consacrée aux problématiques des villes, avec ses cinq masters et son programme de recherche *Cities are back in town*. Il copilote actuellement une vaste étude dans quatre métropoles mondiales : Paris, Londres, Mexico et São Paulo. « Dans cette étude programmée sur dix ans, on accumule des données et des recherches sur les réseaux d’élites, la politique de logement, de transport, les réseaux d’eau et d’électricité, la corruption..., énumère le politiste. Notre hypothèse, c’est que toutes ces métropoles, malgré leurs différences, ont des questionnements qui leur sont propres. Et qu’elles ont bien plus à partager qu’avec les autres villes du pays où elles s’enracinent. »

Une nouvelle classe sociale transnationale

Ainsi, les transports sont une préoccupation majeure de toutes les grandes métropoles, de la difficile gestion des transports en commun, à l’adoption massive de solutions en libre-service de type Vélib... La crise du marché du logement et l’explosion des prix de l’immobilier sont

un autre point de convergence. Sur l’immigration à laquelle elles sont confrontées de plein fouet, les grandes villes recherchent des solutions d’accueil originales, là où les États se montrent plus frileux. Même constat sur le changement climatique et l’écologie, avec le très actif réseau C40 (pour Cities Climate Leadership Group) qui fédère les grandes métropoles du monde.

Le chercheur s’intéresse aussi aux effets de la globalisation sur les classes moyennes et supérieures urbaines et à la façon dont leur mobilité – voyage, réseaux, travail à l’étranger – les distingue d’autres groupes moins mobiles, dessinant une nouvelle classe sociale de cadres supérieurs transnationale qui partage valeurs et modes de vie⁴.

Des risques latents

« Véritables laboratoires du changement social, créatrices de richesse, escalator social, les grandes métropoles créent des inégalités et portent en germe de nombreux risques », avertit Patrick Le Galès. À mesure qu’elles grossissent, elles nécessitent des infrastructures toujours plus tentaculaires... et des investissements exorbitants. « À Londres, le réseau d’eau – l’un des premiers à avoir été créé en Europe au XIX^e siècle – pose un vrai problème de vétusté. Mais les coûts de rénovation de ce réseau sont tellement élevés que les retards s’accumulent », poursuit le politiste, qui s’interroge sur ce qui se passera si les villes deviennent invivables, du fait de la pollution et de la hausse des températures, si les mouvements anti urbains se renforcent ou si l’accès à l’eau et à l’énergie devient problématique.

Patrick Le Galès ne livre pas ses analyses depuis le fond de sa bibliothèque. L’infatigable globe-trotteur nourrit ses travaux de collaborations internationales et de séjours de recherche aux quatre coins du monde, de l’Institut européen de Florence à l’Institut Max-Planck à Cologne, en passant par l’Université de Californie à Los Angeles, Helsinki, ou encore Renmin à Pékin... En dix ans à peine, le CEE est devenu un laboratoire de sciences sociales reconnu internationalement, qui compte, parmi une trentaine de chercheurs, des recrues venues de Suède, d’Italie, de Tchèque, d’Allemagne, d’Espagne et, bien sûr, de Grande-Bretagne, où Patrick Le Galès conduit actuellement une étude croisée sur les Français de Londres et les Britanniques travaillant à Paris. Un sujet brûlant, en pleine période de Brexit... II

1. Unité CNRS/Sciences-Po Paris. 2. *Le Retour des villes européennes*, P. Le Galès, Presses de Sciences-Po, 2011, 486 p. 3. Unité CNRS/Sciences-Po Paris.

4. *Un monde à la carte, les villes européennes des cadres supérieurs*, P. Le Galès et al., PUF, 2016, 376 p.

« Je me suis lancée dans la



© L. PHILLY/CNRS PHOTO THÉRIQUE

Matière. Inauguré en avril, l'Institut Jean Lamour abrite le Tube-Dajm, une plateforme unique qui permet de percer les secrets de la matière à l'échelle du nanomètre. Explications avec Danielle Pierre, à l'origine de ce projet qui lui a valu la médaille de cristal du CNRS en 2018.

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Le 5 avril ont été inaugurés les nouveaux bâtiments de l'Institut Jean Lamour (IJL)¹, sur près de 28 000 m² au cœur du campus Artem à Nancy. Quels travaux y sont menés ?

Danielle Pierre : Ce laboratoire en science des matériaux, le plus grand d'Europe, explore la matière au niveau atomique. Il est né en 2009 de la fusion de cinq laboratoires du CNRS et de l'Université de Lorraine, dont le Laboratoire de physique des matériaux de Nancy que j'avais intégré en 1992 comme technicienne. Depuis une décennie, à la croisée des disciplines, l'IJL concentre ses recherches dans différents domaines : matériaux, métallurgie, plasmas, surface, électronique et nanomatériaux. Dans ce dernier domaine, nous nous attachons notamment à créer, tester et découvrir les propriétés de nouveaux matériaux en couches minces. Aujourd'hui, nous retrouvons celles-ci et les nanomatériaux partout : dans les cellules photovoltaïques, les panneaux solaires, l'électronique, les téléphones portables ou encore les filtres

antilumière bleue des lunettes de vue. Les performances et la miniaturisation de ces objets du quotidien font que demain, ils seront encore davantage utilisés dans les télécommunications, dans des capteurs plus écologiques, dans de nouveaux moyens d'écriture pour le stockage de l'information ou encore dans le domaine de la santé.

L'IJL abrite le Tube-Dajm², instrument inédit dont vous êtes l'architecte. Comment ce projet est-il né ?

D. P. : L'idée de cet instrument remonte à 2006. L'objectif était alors de mutualiser les équipements pour qu'ils soient accessibles à différentes équipes du laboratoire, mais aussi de regrouper les compétences présentes dans le laboratoire, pour pouvoir les partager. Pour répondre aux besoins de la recherche et avoir une approche multimatériau et multi-analyse, il fallait pouvoir combiner des équipements dédiés à l'élaboration de matériaux ayant des propriétés très différentes, comme des métaux, des oxydes, des semi-conducteurs ou encore des matériaux organiques, avec des équipements d'analyses de surfaces. Ceux-ci permettent de caractériser et de mieux connaître ces matériaux que ce soit au niveau structural, chimique, optique ou magnétique. Les combinaisons multiples qui en découlent permettront d'étudier et de développer des nouveaux matériaux hybrides. Quant à moi, depuis toute petite, j'aime les jeux de construction ! En proposant de créer Tube-Dajm, permettant d'inter-

“L'idée était simple mais la réalisation beaucoup plus complexe, car chaque partie était à imaginer et à concevoir: il a fallu près de dix ans pour y parvenir!”

1. Unité CNRS/Université de Lorraine. 2. Pour Dépôts et analyses sous ultraviolette de nanomatériaux.

construction d'un Meccano géant »

connecter 28 équipements ultravides consacrés à l'étude de nanomatériaux, je me suis lancée dans la construction d'un Meccano géant de 70 mètres de long, et sans instruction de montage. L'idée était simple mais la réalisation beaucoup plus complexe, car chaque partie était à imaginer et à concevoir : il a fallu près de dix ans pour y parvenir ! Installé de février à décembre 2015, l'ensemble n'a été finalisé qu'en décembre 2017. Il nous permet aujourd'hui de concevoir de nouveaux matériaux à l'échelle atomique dans des conditions uniques au monde !

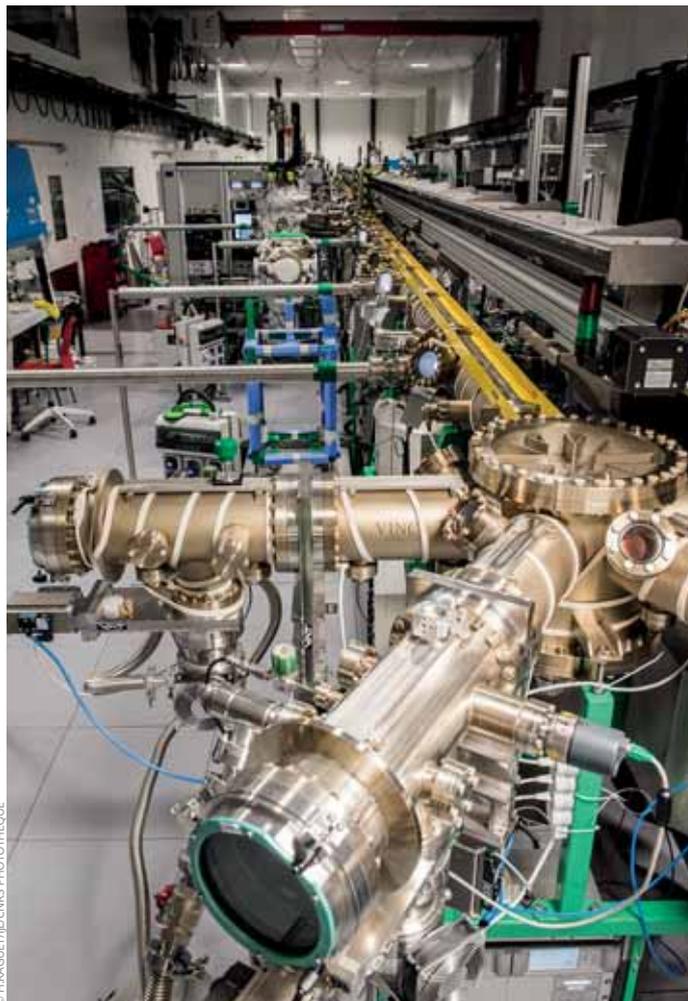
Pourquoi travailler sous ultravide ?

D. P. : Lorsque l'on travaille à l'échelle atomique, les propriétés des matériaux sont gouvernées par les propriétés des surfaces et des interfaces. Or les atomes résiduels, présents dans l'air ambiant, peuvent contaminer et altérer la surface des matériaux et changer leurs propriétés physico-chimiques. L'ultravide, c'est quand il n'y a plus de molécule d'air ! C'est pour cela que pompes, capteurs et vannes maintiennent un vide... spatial – soit une pression de quelques 10^{-10} millibars – pour que chaque étape puisse se faire sans avoir vu la pression atmosphérique. Cette plateforme, tout en longueur, permet donc d'allier *in situ* et sous ultravide la conception et l'analyse de matériaux à l'échelle atomique, de transporter très rapidement des échantillons d'une machine à une autre tout en restant sous ultravide, grâce notamment à 8 chariots porte-échantillon. En somme, le tube est un outil scientifique inédit permettant de regrouper toute la chaîne, de l'élaboration à la caractérisation des nanomatériaux, pour réaliser de nouveaux prototypes dans les meilleures conditions.

Le Tube est aussi ouvert aux industriels...

D. P. : En effet, un espace sur le tunnel ultravide leur est dédié et le

bureau de transfert technologique de l'IJL est chargé de développer les collaborations avec eux. Il y a aujourd'hui une véritable émulation autour de la plateforme : en plus d'être un outil unique au monde, le Tube-Dapm est devenu un lieu d'échange et de partage d'expériences propice à la créativité. Aujourd'hui, ce sont cinq équipes de recherche issues de deux départements scientifiques de l'IJL qui animent la recherche et les collaborations scientifiques sur cet outil. Nous avons également un partenariat industriel. Mais les travaux ne font que commencer... Nul doute que cette plateforme ouvrira de nouveaux horizons à la recherche et au transfert technologique.



© HIRAGUET/JULIENIS PHOTO THÉQUE

Ce projet vous a valu la médaille de cristal du CNRS en 2018.

D. P. : Oui, cela a été un grand honneur pour moi de recevoir cette médaille. Cette aventure a comporté de nombreux défis, tant technologiques qu'humains, que j'ai pu relever grâce au soutien et à la mobilisation des compétences de tous les acteurs du projet. Car c'est avant tout un formidable travail d'équipe. Cette distinction est aussi une reconnaissance de la pertinence de ce projet, et elle valorise l'ensemble de notre laboratoire. À présent, une large part de ma mission consiste à faire connaître la plateforme, à développer une interface de compétences et d'appui à la recherche autour d'elle et de favoriser

de nouvelles collaborations de recherche et de nouveaux partenariats industriels. Mais après m'être consacrée pendant plus de dix ans à ce projet, je n'écarte pas la possibilité de revenir à mes premiers travaux sur l'élaboration et la caractérisation de matériaux, notamment en acquérant une formation en microscopie à force atomique et à effet tunnel, des techniques que nous avons sur le Tube... II

► Tube-Dapm, plateforme de 70 mètres de long, composée de 28 équipements ultravides (sans aucune molécule d'air) interconnectés, permet de concevoir de nouveaux matériaux à l'échelle atomique.

Le CNRS dévoile ses talents

Comme chaque année, le CNRS célèbre chercheurs, ingénieurs et techniciens qui participent au dynamisme et à la renommée de l'institution. Les noms des 24 lauréats de la médaille de cristal ont été révélés en avril, venant s'ajouter aux 20 lauréats de la médaille d'argent et aux 43 lauréats de la médaille de bronze 2019.

» www.cnrs.fr/fr/talent/index

Jean-Luc Moullet nommé à l'innovation

Le 18 mars, Jean-Luc Moullet, jusqu'alors directeur du programme Industrie au secrétariat général pour l'investissement, rattaché au Premier ministre, a été nommé directeur général délégué à l'innovation du CNRS (*lire page 42*). Membre du directoire, il assure le pilotage et la coordination de l'ensemble des activités en matière de valorisation et de transfert du CNRS. Ancien élève de l'École polytechnique et de l'École nationale supérieure des mines de Paris, Jean-Luc Moullet, 50 ans, est ingénieur au corps des Mines. Sa carrière mêle administration publique – notamment comme conseiller auprès du préfet de la région Centre et, plus récemment, auprès du ministre de la Défense – et entreprises privées. Il a entre autres été directeur général de l'unité Software and Technology Solutions de Thomson Technicolor et du groupe Sephira au Mans.



© C. LEBEDINSKY

Muriel Sinanides déléguée aux cadres supérieurs



© CNRS-DROG

Le 15 mars, Muriel Sinanides a été nommée directrice déléguée aux cadres supérieurs par intérim. Elle reste néanmoins déléguée régionale de la délégation Centre-Est jusqu'à la nomination de son successeur.



© C. ALIX/UNESCO

▶ De gauche à droite:
Ingrid Daubechies,
Karen Hallberg,
Maki Kawai,
Najat Aoun Saliba,
Claire Voisin.

CLAIRE VOISIN, LAURÉATE DU PRIX L'ORÉAL-UNESCO 2019

Médaille d'or 2016 du CNRS, la mathématicienne Claire Voisin¹ est lauréate 2019 du prix international L'Oréal-Unesco pour les femmes et la science. Ce prix, qui met à l'honneur cinq femmes scientifiques, récompense ses travaux exceptionnels en géométrie algébrique et ses découvertes qui lui ont permis de résoudre des questions fondamentales sur la topologie et les structures de Hodge, variétés algébriques complexes.

1. Claire Voisin travaille à l'Institut de mathématiques de Jussieu-Paris Rive Gauche (CNRS/Sorbonne Université/Université Paris-Diderot).

Une journée spéciale pour les professeurs de chimie

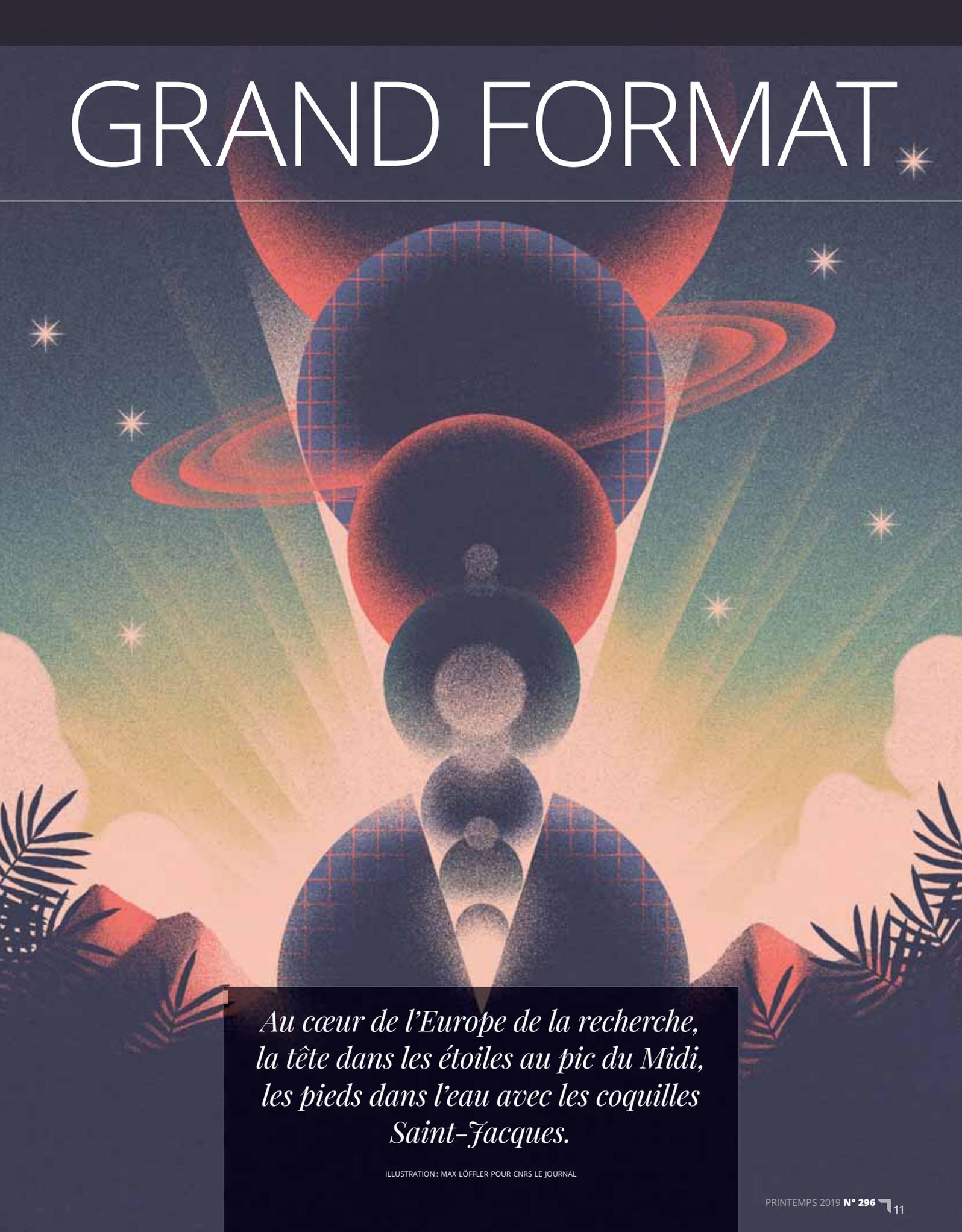
Près de 1 100 professeurs de chimie ont participé à une journée nationale de formation à la culture scientifique, le 20 mars et le 3 avril, destinée aux enseignants du second degré. Organisée pour la première fois, cette initiative a eu lieu dans 25 villes en France. Point d'orgue des actions du CNRS à l'occasion de l'Année de la chimie, de l'école à l'université 2018-2019, cet événement comprenait des conférences sur les grandes avancées de la recherche en chimie et des visites de laboratoires. Plus de 600 chercheurs, ingénieurs et techniciens en chimie étaient mobilisés pour partager leurs recherches et resserrer les liens entre les enseignants et les laboratoires.



© N. BLISSER/CNRS

▶ Les enseignants ont pu échanger avec les chercheurs lors de visites dans les laboratoires.

GRAND FORMAT



*Au cœur de l'Europe de la recherche,
la tête dans les étoiles au pic du Midi,
les pieds dans l'eau avec les coquilles
Saint-Jacques.*

ILLUSTRATION : MAX LÖFFLER POUR CNRS LE JOURNAL



Du 23 au 26 mai se tiennent les élections européennes dans les États membres de l'Union. L'occasion de se pencher sur une des grandes réalisations du Vieux Continent : l'Europe de la recherche qui produit près d'un tiers de la science dans le monde. État des lieux et reportage à Grenoble, dans deux laboratoires emblématiques de la coopération européenne.

DOSSIER RÉALISÉ PAR LA RÉDACTION



Europe: l'Union fait la recherche



10 questions sur l'Espace européen de la recherche

COMMENT S'EST-IL CONSTRUIT ?

ERC, programme-cadre, *flagship*, bourses Marie-Curie... Aujourd'hui, l'Europe fait partie intégrante du paysage de la recherche et s'est imposée dans la vie des laboratoires de ses États membres. Mais ce qui sonne comme une évidence en 2019 ne l'était pas il y a tout juste vingt ans. « *Quand j'ai pris mes fonctions en 1999, la recherche ne figurait pas dans les traités, se souvient Philippe Busquin nommé commissaire européen à la Recherche cette année-là. Les programmes-cadres européens avaient pour seule mission de soutenir les entreprises et s'ajoutaient aux programmes nationaux... j'appelais ça le 15+1.* » L'Union européenne (UE) ne comptait encore que 15 membres.

Physicien nucléaire de formation et homme politique de carrière (il présidait le parti socialiste de la Belgique), Philippe Busquin entend donc se saisir de la préparation de la Déclaration de Lisbonne signée, en 2000, par les États membres, pour faire de la recherche « *un élément prioritaire* » des politiques communautaires. Premier objectif : les dépenses de recherche doivent atteindre 3 % du PIB d'ici à 2020. « *Cela n'a certes pas été réalisé mais l'objectif a été accepté* », résume-t-il. Aujourd'hui, même si des disparités existent entre les États membres, l'UE consacre environ 2 % de son PIB à la recherche (2,2 % pour la France), contre 2,6 % pour les États-Unis, 3,2 pour le Japon et 4,2 % pour la Corée du Sud.

Second objectif : faire travailler davantage les Européens ensemble. Philippe Busquin a en effet en tête une visite au cercle polaire arctique « *où un laboratoire allemand et un laboratoire français travaillaient chacun de leur côté sur l'ozone, chacun avec un partenaire aux États-Unis : Ils ne se connaissaient pas ! À l'époque, ...*

... la recherche européenne avait les yeux tournés au-delà de l'Atlantique et ne cherchait pas de collaborations en Europe ».

Ainsi s'est amorcée une nouvelle dynamique, celle de l'Espace européen de la recherche (EER), avec des programmes mieux dotés, la possibilité de faire collaborer différentes régions par le biais des appels ERA-net¹, la création de la feuille de route européenne pour les grandes infrastructures, le développement des bourses Marie-Curie pour favoriser les mobilités de chercheurs en Europe. « En 2006, avec la signature du Traité de Lisbonne, l'Union a obtenu le droit de financer la recherche fondamentale, ce qui n'était pas le cas auparavant », ajoute Philippe Busquin. En 2007, l'Europe peut ainsi créer le Conseil européen de la recherche (ERC²), en gestation depuis quelques années.

Aujourd'hui, malgré des progrès importants, « beaucoup de choses peuvent encore être améliorées, comme les écarts significatifs en matière de performance de recherche et d'innovation entre pays, estime Carlos Moedas, actuel commissaire européen à la Recherche. L'EER doit également accompagner les changements de notre époque et se moderniser. Le triptyque de priorités de la Commission, Open Science, Open Innovation and Open to the World, va dans ce sens. La modernisation et la digitalisation des universités, qui doivent devenir des centres de recherche et d'innovation d'excellence tout

en renforçant leur dialogue avec les citoyens, et la création de réseaux globaux de recherche et d'innovation sont particulièrement fondamentales ».

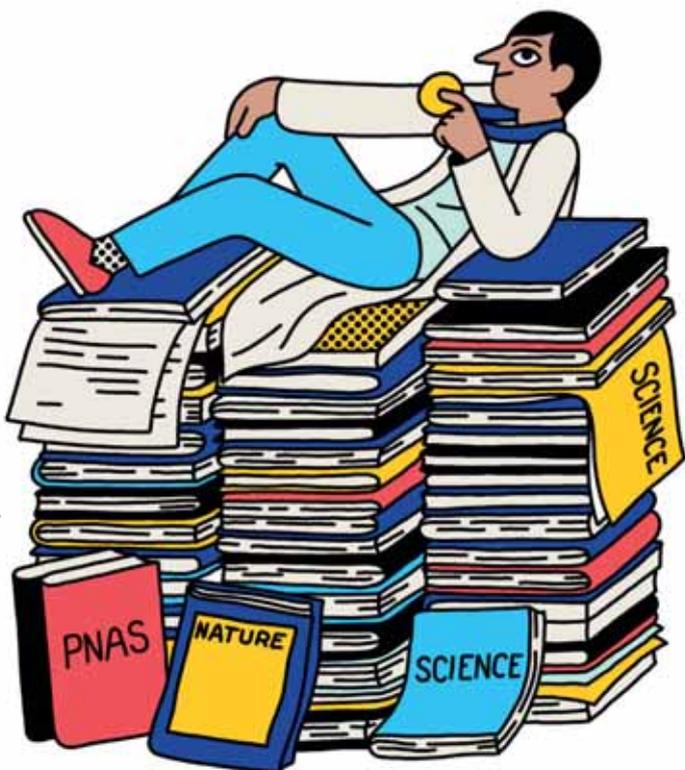
QUELLES SONT LES GRANDES RÉUSSITES SCIENTIFIQUES AU CRÉDIT DE L'EUROPE ?

La première image d'un trou noir dévoilée le 10 avril, la détection des premières ondes gravitationnelles, la capture du fuyant et discret boson de Higgs ou encore la première sonde à se poser sur une comète située à des centaines de millions de kilomètres de la Terre : toutes ces réussites scientifiques majeures ont bénéficié de l'engagement des pays européens. Sans parler de nombreuses avancées scientifiques et autres innovations technologiques fleurissant un peu partout sur le Vieux Continent grâce aux projets collaboratifs financés par les grands programmes-cadres (FP7, Horizon 2020 et bientôt Horizon Europe).

Jusqu'à 50 acteurs, académiques et industriels, répartis dans au moins 3 États européens, peuvent y prendre part : « Ils ont bâti l'Europe de la recherche », se félicite Pascal Dayez-Burgeon de la direction de l'Europe de la recherche et coopération internationale du CNRS. Et ont contribué à hisser l'Europe au premier rang de la science mondiale : « En tant que groupe, les 28 États membres de l'UE sont les plus productifs au monde », soulignait dès 2015 le rapport pour la science de l'Unesco³.

Cette primauté, dans un monde scientifique où la concurrence s'amplifie – en 2018 la Chine a doublé les États-Unis en volume de publications –, doit beaucoup à ces programmes-cadres et aux différentes instances, parfois peu connues du grand public. À l'instar de l'ERC, dont le but est de financer l'excellence scientifique grâce à différentes bourses allouées aux scientifiques afin de leur permettre de mener à bien leurs travaux. Pour ce faire, l'ERC dispose d'un budget important : 13 milliards d'euros (Md€) sur la période 2014-2020 permettant de financer plus de 6 000 projets.

Autant dire que l'obtention d'un contrat ERC est la garantie pour un scientifique et son équipe de pouvoir viser haut : « Ces financements permettent de stimuler l'ambition des chercheurs », se félicite le mathématicien français Jean-Pierre Bourguignon, actuel président de l'ERC. Résultat : 116 000 publications scientifiques ERC ont vu le jour, dont plus de 5 000 dans le 1 % des revues les plus citées : « L'UE a dépassé sur ce point les États-Unis dès 2014 », souligne-t-il. Ce sont également 6 prix Nobel et 4 médailles Fields qui ont récompensé des chercheurs dont les travaux ont été soutenus par l'ERC. « Cette belle dynamique se poursuit, se réjouit-il,



soutenue par l'exigence du processus de sélection des projets s'appuyant sur les meilleurs spécialistes au niveau mondial. »

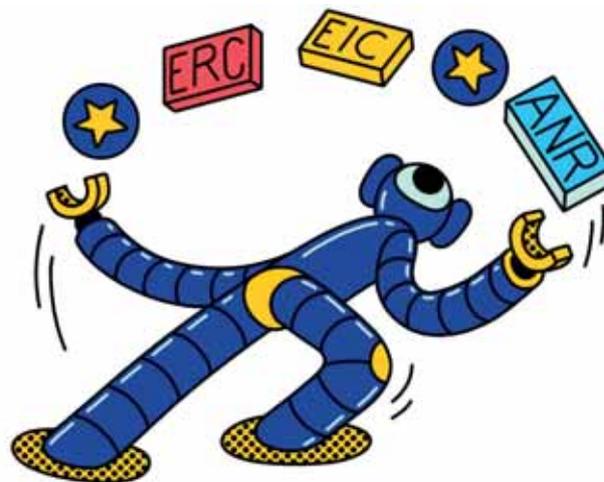
Fort de cette réussite, Jean-Pierre Bourguignon sait pourtant que l'ERC ne peut pas se reposer sur ses lauriers : « Les nouveaux défis scientifiques nécessitent de fédérer des chercheurs d'horizons divers et variés, et à l'avenir nous souhaitons mieux accompagner les projets pluridisciplinaires ».

QUEL EST L'IMPACT DE L'EUROPE DANS LA VIE DES LABOS ?

« Depuis que j'ai découvert les financements européens, je ne peux plus m'en passer » : le programme-cadre connaissait sa 5^e édition quand Abderrahmane Kheddar a commencé à y chercher des financements. Aujourd'hui, le codirecteur du Joint Robotics Laboratory (JRL), unité mixte de recherche internationale entre l'Institut national japonais des sciences et technologies - l'AIIST - et le CNRS, est selon ses propres termes, « un habitué qui a testé quasi tous les instruments ». Parmi ceux-ci, le projet collaboratif qui permet de réunir chercheurs et industriels autour d'une problématique.

Aujourd'hui, le chercheur biberonne ses doctorants et les jeunes chercheurs aux financements européens. « Je les associe à la préparation des dossiers, aux réunions de travail : je leur explique que s'ils veulent de l'argent pour leurs recherches, ils le trouveront d'abord en Europe. Elle permet d'avoir des financements plus importants et, paradoxalement, plus faciles à obtenir que ceux de l'Agence nationale de la recherche (ANR), car la part de l'aléatoire y est moindre. Cela permet également de travailler avec les meilleurs sur le plan européen », explique-t-il. Autre intérêt : les overheads, soit la part du projet dédiée au fonctionnement de l'institution, « sont très importants, à hauteur de 20 % du total, une somme qu'on peut récupérer pour faire ce qu'on veut ». Dès que le chercheur dispose d'un reliquat de fonds, il travaille sur le projet suivant, ce qui lui permet d'avancer « sur des projets à risque ».

Autre chercheuse à qui les financements européens ont donné un élan scientifique, l'historienne médiévale Monica Brinzei, lauréate d'un ERC Consolidator, et qui avait déjà bénéficié d'un *starting grant* tout juste deux ans après sa thèse. « L'ERC nous a donné les moyens d'améliorer la qualité de notre travail en obtenant des copies de microfilms ou encore en assistant à des conférences », témoigne la scientifique de l'Institut de



recherche et d'histoire des textes du CNRS. Sans compter que grâce aux *overheads*, « tout le laboratoire peut en profiter un peu », résume-t-elle. Si certains de ses collègues ont encore du mal à se lancer, notamment en sciences humaines et sociales (SHS), c'est parce que, selon elle, l'usage de l'anglais s'est imposé dans les dossiers de candidature. Outre le reproche d'un certain formatage, la bureaucratie et la complexité des dossiers à monter pour un taux parfois faible de réussite sont des critiques qui reviennent souvent. « C'est vrai, mais cela oblige à trouver des solutions pour tout », note la chercheuse, résolument positive. Autre conséquence de ces financements : la constitution d'une équipe de six collaborateurs en moyenne autour d'un lauréat ERC, confronté à de nouvelles responsabilités... et qui modifie forcément l'équilibre d'un laboratoire.

COMMENT VA ÉVOLUER LE PROGRAMME-CADRE ?

« Quand on voit la renommée de l'ERC, on comprend que les programmes européens font aujourd'hui référence au niveau mondial », analyse Philippe Larédo, directeur de recherche à l'université Paris-Est au Laboratoire interdisciplinaire sciences, innovations, sociétés⁴, et spécialiste des politiques publiques de recherche.

Doté de 79 Md€, le programme-cadre de recherche Horizon 2020 qui court, comme son nom l'indique, jusqu'à l'an prochain, a été conçu pour être « un moteur de notre développement économique tout en apportant des réponses concrètes aux principaux défis sociétaux de notre temps », rappelle Carlos Moedas qui y voit « une *success story* du projet européen ». Horizon Europe, son successeur, prendra le relais en 2021 et devra « bâtir un programme sur les bases de ce succès, tout en apportant les modifications nécessaires pour renforcer son impact ».

Pour Carlos Moedas, cette 9^e édition du programme-cadre européen se distinguera par plusieurs nouveautés. En premier lieu le Conseil européen de ...

1. Pour European Research Area Network. 2. Pour European Research Council. 3. Disponible sur <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246417>. 4. Unité CNRS/INRA/ESIEE PARIS/UNIV. Paris-Est Marne-la-Vallée.

... l'innovation (EIC⁵) (lire ci-dessous), et le lancement de Missions de recherche et innovation, qui « *auront pour objectif de travailler sur les principaux enjeux sociétaux (réchauffement climatique, cancer, océans, neutralité carbone, alimentation) en impliquant toutes les parties prenantes, y compris les citoyens* ». Le commissaire européen à la Recherche souligne qu'Horizon Europe sera en outre caractérisé par « *un soutien renforcé aux États membres les moins avancés en matière de recherche et innovation, une plus grande ouverture et dissémination des connaissances scientifiques et une nouvelle génération de partenariats de recherche et innovation* ».

Autre nouveauté introduite avec Horizon Europe : une partie de la programmation sera confiée aux soins d'une « *planification stratégique* » auxquels prendront part les ministres de la Recherche européens, les acteurs de la recherche ainsi que des représentants de la société civile. Le programme dont la structure globale a fait l'objet d'un accord politique en mars – à l'exception de son budget qui sera décidé en octobre – est donc moins détaillé que les précédents. « *On ne peut détailler que ce que l'on fait de manière conventionnelle, se réjouit Philippe Larédo. L'idée est donc de définir les grands cadres de moyens mais pas ce qu'on y met précisément. C'est une affaire de prise de risques : on a mis du temps à l'accepter pour l'ERC, aujourd'hui on trouve normal de déléguer des milliards d'euros à une agence qui établit ses propres procédures de sélection des projets.* »

Reste la question centrale du budget qui sera alloué à ce 9^e programme-cadre. Si la Commission a proposé une somme de 100 Md€, la communauté scientifique européenne se mobilise pour un chiffre plus ambitieux : 160 Md€, soit le double du montant attribué à Horizon 2020. Cela a d'ailleurs fait l'objet d'une pétition lancée en juillet 2018 lors de l'Esof⁶ à Toulouse, signée notamment par plusieurs prix Nobel, dont Jean-Marie Lehn, Serge Haroche, et Jules Hoffmann.

QUELLE PLACE POUR L'INNOVATION ?

« *Avec l'ERC, nous disons au monde que la meilleure science se fait en Europe, avec l'EIC, nous disons aux innovateurs : venez innover en Europe, ou restez innover en Europe.* » C'est en ces termes que Jean-Éric Paquet, directeur général à la recherche et à l'innovation de la Commission européenne présentait, le 11 avril à Paris, le « *pilote* » destiné à expérimenter le futur EIC.

Le constat de départ, Carlos Moedas le souligne régulièrement : avec « *7 % de la population mondiale, mais 20 % de l'investissement global en R&D, [l'Union européenne] produit un tiers des articles scientifiques de*

© S. LANDREIN POUR CNRS LE JOURNAL



haut niveau et est un leader d'industries telles que la pharmaceutique, la chimie, l'ingénierie mécanique ou encore la mode. » Pour autant, tout en étant « *un acteur de poids dans le panorama mondial de l'innovation, elle doit reconnaître qu'elle peut faire mieux en ce qui concerne la transformation de recherche de haute qualité en succès commerciaux : seules 8 % des licornes⁷ mondiales sont européennes* », tempère le commissaire européen à la Recherche.

« *Nous devons générer plus de champions mondiaux issus de l'innovation européenne* », poursuit-il. Avec « *un budget supérieur à 10 Md€ sur la période 2021-2027* », l'EIC entend donc introduire « *une nouvelle approche de financement de l'innovation, centrée sur les besoins exprimés par les innovateurs, plutôt que d'imposer des thématiques prédéfinies et rigides comme cela a pu être le cas auparavant.* » L'EIC, qui devrait à terme être structuré sous forme d'une agence, a pour objectif d'être « *clairement identifiable, inédit, et doit regrouper via une même porte d'entrée un ensemble de financements qui recouvrent toute la chaîne de l'innovation, au service de l'innovation de rupture* », expose Lison Demichelis, qui en a suivi la genèse au sein du bureau du CNRS à Bruxelles.

L'EIC est structuré autour de deux outils. D'une part, un éclaireur ou *pathfinder*, qui reprend le programme actuel Future Emerging Technologies, dont l'objectif est de faire émerger de nouvelles idées. D'autre part, un accélérateur destiné aux PME et aux start-up auxquelles il proposera des subventions et des prises de participation afin de les aider à gagner de nouveaux marchés et à monter en gamme. « *Au niveau du programme dans son ensemble, les équilibres budgétaires dédiés à l'innovation ne changent pas* », souligne Philippe Larédo. Pour lui, l'intérêt de l'EIC tient dans « *l'effet portefeuille qui permet de mieux répondre aux besoins de l'innovation pour chaque secteur donné ainsi que dans la professionnalisation et le renforcement de l'articulation des politiques* ».



Son lancement qui devrait permettre de gagner en rapidité pour traiter les dossiers (un paramètre prépondérant en matière d'innovation) pourrait répondre à des besoins de scientifiques de tous horizons, allant de la deep tech aux sciences humaines : « Dans notre domaine, explique ainsi l'historienne Monica Brnzei, nous devons par exemple développer des instruments de travail, des bases de données, nous appuyer sur l'intelligence artificielle pour automatiser la lecture des manuscrits. Or il n'existe pas vraiment de financements appropriés en SHS. »

QUELS GRANDS THÈMES POUR LE FUTUR ?

Santé, société inclusive et sûre, numérique et industrie, climat, énergie et mobilité, ou encore alimentation et ressources naturelles sont les principaux thèmes d'Horizon Europe. Les recherches déployées dans ces domaines s'articuleront avec celles menées au sein des trois grands programmes de recherche sur le long terme, les *flagships*. Les deux premiers, Graphene et Human Brain Project (HBP), ont été lancés en 2013 pour une durée de dix ans avec, pour chacun, un budget total de 1 Md€.

Graphene (150 partenaires académiques et industriels répartis sur 23 pays) vise à doper les performances des technologies industrielles (capteurs, batteries, etc.) à l'aide des propriétés physico-chimiques des matériaux monocouches comme le graphène. Pour HBP, une partie de la communauté des chercheurs s'était émue, dans sa phase préparatoire, face à des ambiguïtés concernant la place des neurosciences et notamment la validation des hypothèses biologiques par la simulation. La gouvernance du projet a donc été réorganisée de manière

à mettre en place des instances de prise de décision scientifique plus collégiales et des mécanismes plus transparents. Aujourd'hui, HBP prépare sa troisième phase d'implémentation qui le projette vers la construction d'une infrastructure européenne pour les neurosciences, la médecine et le calcul à haute performance.

Dernier lauréat de ce prestigieux programme, le *flagship* Quantum Technologies lancé fin octobre 2018 : « Ce programme ambitionne de transférer d'ici à dix ans les avancées scientifiques de la deuxième révolution quantique vers l'industrie et le grand public », se réjouit le physicien Sébastien Tanzilli, chargé de mission Ingénierie quantique auprès de l'Institut de physique du CNRS. S'appuyant sur un socle de recherches fondamentales, chercheurs et industriels espèrent découpler la sécurité des communications grâce à la cryptographie quantique, développer des supercalculateurs quantiques ou encore faire entrer les capteurs électroniques dans l'ère de la mesure quantique ultraprécise.

« Ces grands projets européens offrent un cadre unique pour développer l'interdisciplinarité et les infrastructures afin de répondre aux grands défis de demain », souligne Geneviève Almouzni, directrice de recherche CNRS à l'Institut Curie. La biologiste codirige le consortium LifeTime qui aspire à devenir l'un des futurs grands projets interdisciplinaires d'Horizon Europe. Il faut dire que LifeTime a pour ambition de révolutionner la médecine : les chercheurs veulent en effet tenter de suivre pas à pas, au sein de chaque cellule de l'organisme, l'évolution moléculaire de maladies chroniques telles que le cancer, le diabète ou les maladies cardiovasculaires. Une fois cette trajectoire cellulaire décryptée, il serait alors envisageable de prévenir le mal en le bloquant précocement ou de le traiter de manière extrêmement ciblée.

Plus généralement, le programme Horizon Europe veut encourager l'adéquation entre les grands challenges auxquels les populations européennes sont confrontées (mieux lutter contre les maladies, la pollution, le réchauffement climatique, etc.) et les financements alloués. Les Missions de recherche et innovation seront sélectionnées dans cette philosophie.

QUELS SONT LES AUTRES AVANTAGES À SE FÉDÉRER ?

L'union fait la force : l'Europe compte de nombreux exemples qui illustrent cet adage. Parmi eux, les grandes infrastructures de recherche, comme le Cern, l'ESRF ou l'Institut Laue-Langevin (lire page 21). D'abord ...

5. Pour European Innovation Council 6. Pour Euroscience Open Forum. 7. Les licornes sont des entreprises ou des start-up valorisées à 1 milliard d'euros ou plus.

... pensées comme des outils de réconciliation franco-allemande, elles se sont ensuite « ouvertes à d'autres partenaires, puis multipliées », rappelle Gabriel Chardin qui préside le comité Très grandes infrastructures au CNRS. En 2006, l'Europe s'accorde ainsi sur sa première feuille de route en la matière, l'Esfri⁸, qui fait maintenant l'objet de mises à jour régulières. La dernière, en 2018, a ainsi vu l'entrée de six nouvelles infrastructures. « Pour être intégrées sur la liste européenne, les infrastructures doivent d'abord figurer sur les feuilles de route nationales des pays qui le proposent », précise Gabriel Chardin. Il existe souvent des déclinaisons nationales des infrastructures. »

« Depuis sa création, l'EER a, entre autres réussites, renforcé et ouvert l'écosystème d'infrastructures de recherche européennes, ce qui a permis une meilleure coordination à l'échelle du continent ainsi que des investissements publics plus efficaces », souligne Carlos Moedas. La coordination européenne permet à l'Europe de « s'assurer que l'argent public est bien utilisé en évitant les redondances » et de rester dans la course, face aux États-Unis, mais surtout face à la Chine « qui monte en flèche, avec la création de 200 à 250 très grandes infrastructures en dix ans », reprend Gabriel Chardin.

Autre enjeu de la fédération des acteurs de la recherche : le cheminement vers l'ouverture de la science et des publications. En 2012, la Commission introduit l'obligation de publier et d'archiver en accès libre tout article issu d'un projet financé par le programme Horizon 2020. Les coûts de publication, le cas échéant, étant éligibles pour être pris en charge par le projet. Concernant les données de la recherche, un des livrables doit faire l'objet d'un plan de gestion des données et, s'il n'est pas prévu de les rendre publiques, en spécifier la raison.

« Les pays en Europe, et au-delà, ont depuis emboîté le pas de la Commission, comme la France avec son plan national pour la science ouverte annoncé par la Ministre en juillet 2018 », expose Sylvie Rousset, directrice de l'information scientifique et technique du CNRS. Plus récemment, à l'initiative de Science Europe et avec le soutien de la Commission, via le Plan S, « des agences nationales se sont engagées à mettre en œuvre les actions pour la science ouverte », poursuit-elle.

OÙ EN EST LE SPATIAL EUROPÉEN ?

Sur la deuxième marche du podium mondial, loin derrière les États-Unis, leader incontestable et incontesté ! Classement plus qu'honorable, par conséquent, que celui de l'Europe dans le concert des puissances spatiales. 100^e tir avec succès d'Ariane (2018), ouverture du système de radionavigation Galileo (2016) et du programme de surveillance environnementale Copernicus (2014), largage du mini-laboratoire Philæ sur la comète Tchouri (2014), lancement du télescope spatial Planck pour étudier le fond cosmologique diffus, relique de la première lumière émise dans l'Univers (2009), arrimage du laboratoire Columbus à la Station spatiale internationale (2008), atterrissage de la sonde Huygens sur Titan (2004), etc. Les succès engrangés ces dernières années par le Vieux Continent « attestent du très haut niveau atteint par la recherche et la technologie spatiales européennes, notamment sous l'impulsion de l'ESA⁹ », commente Isabelle Sourbès-Verger, du Centre Alexandre-Koyré¹⁰. L'ESA, qui compte actuellement 22 membres et dispose dans différents pays de centres aux responsabilités bien définies (Centre européen de technologie spatiale à Noordwijk, aux Pays-Bas, Centre européen d'astronomie spatiale à Villanueva de la Cañada, en Espagne...), fédère les ressources financières et scientifiques des États membres, lance des appels d'offres et sélectionne les équipes les plus compétentes.

Dans ce modèle, le niveau européen interagit en permanence avec le niveau national où opère une constellation de laboratoires de recherche fondamentale et appliquée. De même, « l'ESA travaille en coopération avec l'UE (comme dans le cadre du programme Galileo), avec d'autres organisations intergouvernementales européennes telle EUMETSAT¹¹ (pour le développement de missions météorologiques), avec d'autres agences spatiales (Nasa, Jaxa, l'agence spatiale japonaise...) et, bien sûr, avec l'industrie (ArianeGroup, Airbus, Thalès...), poursuit Isabelle Sourbès-Verger.

Néanmoins, la concurrence s'exacerbe comme jamais dans le spatial, avec les pas de géants effectués par



la Chine ou l'Inde et le développement fulgurant d'industriels comme l'Américain SpaceX qui bouleverse actuellement le marché des lanceurs. Pour garder sa place dans le peloton de tête, l'Europe a donc décidé d'investir dans le secteur et travaille sur un grand programme spatial courant de 2021 à 2027, pour lequel la Commission a proposé un financement de 16 Md€.

QUE VA CHANGER LE BREXIT ?

Vivienne Stern, directrice de l'association des universités britanniques, est soulagée. Depuis le 11 avril, au lendemain de la nuit qui a donné lieu à un feu vert des dirigeants européens pour repousser le Brexit au plus tôt au 31 octobre prochain, elle reprend espoir dans le fait que la sortie du Royaume-Uni pourra être encadrée par un accord. En vertu des engagements de l'Union et du Royaume-Uni, ce scénario permettrait notamment aux chercheurs britanniques de participer à Horizon 2020 jusqu'à la fin du programme, sans changement. Puis laisserait le temps de préparer l'accord d'association du pays à Horizon Europe. « *Si un accord faisant du Royaume-Uni un pays associé est signé, les chercheurs britanniques auront toujours accès à l'ERC* », avance Jean-Pierre Bourguignon. Aussi, les universités britanniques ont un message à faire passer à leurs partenaires outre-Manche, que résume Vivienne Stern : « *Continuez à collaborer avec nous comme vous l'avez toujours fait !* »

Pour autant, si la perspective d'une sortie sans accord s'éloigne, elle n'est pas encore absolument écartée. Et ce scénario ferait, du jour au lendemain, du Royaume-Uni un pays tiers, « *au même titre que le Japon ou le Canada* », résume Vivienne Stern. Les Britanniques pourraient encore participer à de nombreux programmes, moyennant financement de leur part, à l'exception notable des ERC.

Le Royaume-Uni a d'autant plus à perdre qu'il est l'un des premiers bénéficiaires de ce programme (derrière l'Allemagne mais devant la France) : « *Le nombre de lauréats de l'ERC travaillant au Royaume-Uni représente de l'ordre de 20 % des candidats* », précise Jean-Pierre Bourguignon. Dans le doute, les institutions britanniques cherchent, sinon la parade, du moins un arrangement. « *Les institutions d'enseignement et de recherche n'ont jamais autant parlé entre elles, de part et d'autre de la Manche, que depuis le référendum sur le Brexit* », expose Vivienne Stern.

Or, ce dialogue a débouché sur une multiplication de partenariats stratégiques. Si les choses tournaient mal,



ces accords faciliteraient une double affiliation des chercheurs, autorisant des lauréats de l'ERC à travailler dans une institution de l'UE tout en conservant un lien avec le Royaume-Uni.

C'est loin d'être la seule vocation de ces partenariats avant tout destinés à ancrer la collaboration entre établissements même en dehors des programmes européens, « et à la clamer ». « *Quelque chose que l'on aurait dû faire depuis longtemps*, précise Vivienne Stern. *Il ne faut jamais passer l'opportunité d'une bonne crise. Et s'il doit y avoir un bon côté au Brexit, c'est sans doute celui-là.* »

QUELLES SONT LES SPÉCIFICITÉS DE LA RECHERCHE EUROPÉENNE ?

Qu'est-ce qui fait l'originalité de la recherche en Europe ? « *Paradoxalement, ce sont ses différences*, explique Pascal Dayez-Burgeon. *Multiculturalisme, multilinguisme : chaque État, chaque culture, chaque langue a sa logique, son génie, sa tradition. Cette hétérogénéité des approches scientifiques en Europe, unique au monde, en fait toute sa force.* » Et cela a un impact considérable sur la manière de faire de la science en ouvrant des horizons toujours nouveaux. Une recherche sans frontière, donc, mais encadrée. En matière d'expérimentation animale, de protection des données personnelles et d'intelligence artificielle, d'environnement ou de recherche biomédicale, les questions d'éthique sont plus discutées et strictes en Europe qu'aux États-Unis ou en Chine. « *C'est parce que la méfiance de la société vis-à-vis des ...*

... entreprises privées en général et des nouvelles technologies en particulier est plus forte qu'ailleurs, explique Jean-Gabriel Ganascia, directeur du Comité d'éthique du CNRS, philosophe et informaticien. *L'Europe de la recherche, c'est moins la recherche elle-même que sa mise en œuvre face aux attentes sociales.* »

À l'image des sciences de l'information, qui apparaissent aujourd'hui comme des savoirs neufs pour tous : ici, la recherche européenne se mobilise non seulement pour développer une meilleure compréhension du risque face aux nouvelles technologies mais également pour construire et contribuer à des plateformes paneuropéennes d'échange de connaissances. Science ouverte et valorisée auprès de la société, structures de coordination et mutualisation de grandes infrastructures, mobilité de la recherche, financements et bourses européennes : « *L'Europe réfléchit sur elle-même et élabore une science démocratique et démocratisée* », assure Pascal Dayez-Burgeon.

« *Encore aujourd'hui, l'idéal universaliste en Europe demeure : la poursuite d'une science libre et ouverte,*

l'idée que les connaissances peuvent être acquises par tous », insiste Jean-Gabriel Ganascia. Cette capacité unique de l'Europe à coopérer se voit notamment en sciences humaines et sociales, considérées ici comme des sciences à part entière. Et cela se retrouve dans les programmes étendards de la recherche européenne. Parmi les grands projets à l'étude pour Horizon Europe, Time Machine, projet de big data du passé de l'EPFL¹² s'attaque au patrimoine. L'objectif est de numériser des données historiques – manuscrits, textes images, monuments – grâce à des technologies de pointe, pour créer un moteur de recherche historique européen. En somme, créer un pont entre le big data du passé et l'intelligence artificielle pour reconstituer le patrimoine culturel, social et géographique européen¹³, témoin de notre histoire commune.

« *La seule manière de porter une réponse aux défis sociaux et globaux actuels et à venir, c'est de la porter au niveau européen* », conclut Jean-Gabriel Ganascia. Pour y parvenir, la recherche a besoin de temps et de liberté. Et d'un espace commun, comme l'Europe. II

Le CNRS, champion d'Europe

« *Le CNRS est le plus gros bénéficiaire du programme de recherche européen : avec 700 millions d'euros, il pèse plus que certains pays* », explique Carlos Moedas, commissaire européen à la Recherche. Fort de plus de 500 bourses ERC sur le programme-cadre Horizon 2020, le CNRS est aussi très impliqué dans les projets collaboratifs avec 829 projets sur un total de 11 821. Les chercheurs qui tentent l'aventure européenne et notamment l'ERC peuvent d'abord s'adresser à leur Institut (cellule Europe) pour la partie scientifique de leur projet, puis à leur délégation (chargés d'affaires Europe des Services Partenariat et Valorisation – SPV) pour son montage administratif et financier. Lorsqu'il s'agit de projets coordonnés par le CNRS ou d'ERC en SHS, c'est le réseau des 10 Ingénieurs Projets européens (IPE), piloté par la Derçi, qui est compétent. « *Le CNRS dispose d'un réseau national de cellules contrats dédiées à l'accompagnement des laboratoires tout au long de la durée des projets européens.*

Les chercheurs peuvent compter sur son expérience et son haut niveau de formation », précise Cédric Bosaro, responsable du pôle Europe et contrats à la Mission pilotage et relations avec les délégations régionales et les instituts. Le CNRS tient aussi à faire connaître ses positions et promouvoir ses valeurs à Bruxelles. C'est dans cette optique que, pour la première fois, le comité de direction du CNRS s'est délocalisé à Bruxelles (les 25 et 26 septembre 2018), montrant l'implication des directeurs d'instituts et du millier de laboratoires qu'ils représentent. « *Le CNRS a toute sa place dans l'Europe de la recherche. En aval, d'excellents résultats et, en amont, une politique de soutien et de participation afin que ses engagements soient connus et ses avis pris en compte* », indique Pascal Dayez-Burgeon, directeur du bureau du CNRS à Bruxelles. À ce titre, deux colloques sont prévus dans le cadre des 80 ans : le 21 mai sur les enjeux de l'innovation au CNRS et le 19 juin sur l'expertise de ses 8 bureaux en matière de diplomatie scientifique.



© S. LANDREIN POUR CNRS LE JOURNAL

12. Ce projet est porté par Frédéric Kaplan, chaire d'humanités digitales de l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Time Machine a été présélectionné par la Commission européenne pour bénéficier d'un financement de 1 Md€ sur dix ans. 13. Plus de 240 institutions venues d'une trentaine de pays européens se sont lancées dans cette initiative.



Vue aérienne de l'Institut Laue-Langevin (à gauche) et de l'ESRF (à droite).

© P. JAYET

Ces deux laboratoires qui illuminent la science

À Grenoble, l'Institut Laue-Langevin et l'European Synchrotron Radiation Facility, fruits de la collaboration européenne, proposent à la communauté scientifique mondiale des sources de photons et de neutrons inégalées pour mener des travaux dans tous les domaines.

REPORTAGE DE JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS

C'est un site unique au monde. Située au nord de la ville de Grenoble, cette bande étroite de terre qui accompagne la confluence du Drac et de l'Isère est une véritable tête de pont de la coopération scientifique européenne et mondiale. Chaque année, ce sont des milliers de publications scientifiques en physique nucléaire, cosmologie, science des matériaux, biologie ou encore en médecine qui voient le jour sur cette presqu'île scientifique. Plusieurs lauréats du prix Nobel y ont réalisé des expériences décisives. Bref, les grands noms comme les grands domaines de la science s'abreuvent à cette source grenobloise. En fait, ce sont deux sources d'un genre particulier que le talent des chercheurs et ingénieurs européens a offertes à la communauté scientifique mondiale.

Une pluie de neutrons

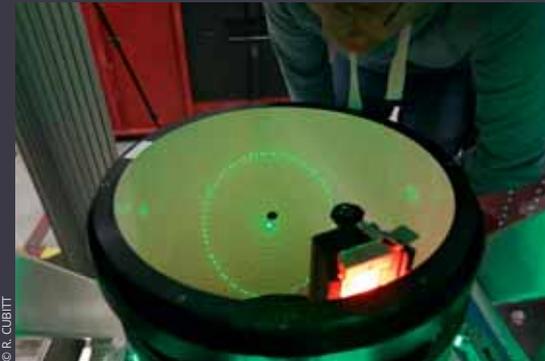
L'une est faite de neutrons – la particule électriquement neutre qui compose, avec les protons, les noyaux des atomes. L'autre est constituée de photons, autrement dit d'un rayonnement lumineux – plus particulièrement de rayons X ultrapuissants, des milliers de milliards de fois plus intenses que ceux des appareils standards de radiographie médicale. Grâce à elles, ce qui est invisible apparaît ici aux yeux des chercheurs. Les grandes questions fondamentales de la physique des particules, de l'Univers,

tout autant que la complexité du vivant, peuvent alors être explorées avec une précision inégalée.

La première de ces sources a jailli du réacteur nucléaire de l'Institut Laue-Langevin (ILL) dès 1971. Ce réacteur nucléaire de recherche est né en janvier 1967 d'une coopération scientifique entre la France et l'Allemagne. Depuis, 11 pays européens ont rejoint l'aventure. Symbole de la primauté historique de l'ILL, le vaste cylindre métallique qui abrite le réacteur s'impose d'emblée à la vue de tout visiteur qui franchit les portes du campus scientifique. « *Le bâtiment réacteur est l'un des plus grands au monde* », souligne Mark Johnson, directeur scientifique de l'ILL. Témoin de l'attachement fort des scientifiques pour cet Institut, ce Britannique d'origine n'a plus quitté l'ILL depuis son arrivée à Grenoble au début des années 1990. Dans un français impeccable, élégamment mâtiné d'anglais, il rappelle fièrement que « *l'ILL demeure la principale et la plus intense source de neutrons au monde* » - son débit avoisine 10^{15} neutrons par centimètre carré et par seconde. Pour s'en approcher, il faut certes montrer patte blanche, mais ce sont moins les contrôles et les sas de sécurité avec leurs lourdes portes blindées qui impressionnent, que la quinzaine de doigts de gants épinglés tout autour du réacteur. Chacun d'entre eux pèse plusieurs tonnes et plonge dans la piscine du réacteur pour y prélever les précieux neutrons. Ce sont eux qui alimentent la quarantaine d'instruments ...

... scientifiques de l'ILL : « *La force de l'ILL n'est pas seulement dans l'intensité de la source de neutrons mais aussi dans la richesse et la diversité de son parc instrumental* », souligne Mark Johnson. Au sein de ces instruments, les neutrons – qu'ils soient « chauds » ou « froids », voire « ultra-froids » selon leur vitesse d'arrivée – y jouent le rôle de « sondes » afin d'interroger les états de la matière inerte ou organique et ce de manière non destructive. « *Environ 1 500 scientifiques issus du monde entier, ainsi que des industriels, réalisent là chaque année des milliers d'expériences* », se réjouit-il. Ils y posent des questions aussi diverses que : « *Peut-on détecter la matière noire avec des neutrons ?* », « *Que se passe-t-il si je rajoute des neutrons à des atomes ?* », « *Quelles sont les contraintes mécaniques au sein d'un matériau usiné par impression 3D ?* », « *Quelle est la structure atomique de*

Principale source de neutrons au monde, l'Institut Laue-Langevin offre aux scientifiques un accès à de nombreux instruments de pointe, à l'image de ce diffractomètre.



© R. CUBITT

“D'une circonférence de 844 m, le synchrotron dédié à l'accélération d'électrons est l'une des plus importantes sources de rayons X au monde.”

telle ou telle protéine ? », etc. Les projets affluent chaque année par milliers. Seuls les plus prometteurs d'entre eux sont invités à l'ILL : « *Un comité international de scientifiques se réunit au printemps puis à l'automne afin de sélectionner les 1 000 meilleurs projets scientifiques qui seront accueillis l'année suivante* », rappelle Mark Johnson. Le temps d'analyse est d'ailleurs si précieux que la plupart des visiteurs ne quittent même pas l'ILL durant leur séjour et peuvent passer des nuits blanches, armés de café, à scruter, impatients, les premiers résultats. Le campus dispose d'ailleurs de sa propre Guest House pouvant loger jusqu'à 400 chercheurs ainsi que de lieux conviviaux de restauration et de détente. Autant d'infrastructures que l'ILL partage avec l'autre géant européen du site : le Synchrotron Européen (ESRF pour European Synchrotron Radiation Facility).

Si le réacteur de l'ILL trône dans le ciel, l'ESRF impressionne, lui, par l'étendue spectaculaire de son anneau de béton. D'une circonférence de 844 m – il faut un bon quart d'heure à pied pour en faire le tour – ce synchrotron dédié à l'accélération d'électrons est l'une des plus importantes sources de rayons X au monde. On y pénètre par une sorte de tourelle amirale située sur sa partie est. Dans le hall, une ronde de drapeaux souligne le caractère



cosmopolite du lieu. Fondées en 1988 par onze États européens, les premières expériences y ont débuté à l'automne 1994. Aujourd'hui 13 pays en sont membres auxquels s'ajoutent 9 pays associés scientifiques, et plus de 40 nationalités se côtoient entre ses murs chaque année.

Un concentré de rayons X

« *C'est une chance d'être ici* », reconnaît la chercheuse espagnole Montserrat Soler-Lopez. Elle a rejoint l'équipe scientifique permanente de l'ESRF depuis cinq ans afin de décrypter les bases moléculaires de la maladie d'Alzheimer : « *Les instruments de cristallographie par rayons X du synchrotron, explique-t-elle, nous aident à cartographier la structure atomique de complexes de protéines associés à la maladie avec une précision unique au monde.* »

À l'instar de l'ILL, l'ESRF est autant un catalyseur de sciences qu'un lieu d'innovations technologiques permanentes. L'institut vit d'ailleurs en ce printemps 2019 un moment charnière : « *Le 10 décembre dernier, pour la première fois de l'histoire de l'ESRF, nous avons arrêté l'accélérateur pour vingt mois* », évoque, un brin ému, l'un des deux directeurs scientifiques de l'ESRF, le Français Jean Susini. D'ici à un an et demi, c'est une source dite de



© S. CANDIE/ESRF

Chercheur au sein de l'ESRF, Hiram Castillo (ci-dessus) mène des travaux sur l'écotoxicité des nanomatériaux. Ses analyses gagneront en précision grâce aux 129 « girders » (tel celui sur la photo ci-contre) qui sont installés actuellement dans le cadre d'un chantier titanesque.



© S. CANDIE/ESRF

« 4^e génération à haute énergie » – la première au monde – qui doit prendre le relais. « Après l'amélioration de 19 lignes de lumière sur les 44 que compte l'ESRF [chaque ligne conduit à un banc d'analyse spécifique, NDLR], nous venons d'entamer la deuxième phase du programme. Celle-ci vise à construire un nouvel anneau de stockage pour concentrer davantage le faisceau de rayons X et à en multiplier par 100 les performances en termes de brillance et de cohérence », précise-t-il.

Un chantier de haute précision

Dénommé EBS, pour « source extrêmement brillante », ce projet est un chantier titanesque. En l'espace de deux mois, l'équivalent en poids de 4 rames de TGV, soit environ 1 700 tonnes de composants et près de 200 km de câbles ont déjà été retirés du tunnel qui héberge l'anneau de stockage. Fait exceptionnel, il est possible le temps des travaux d'arpenter cette piste circulaire le long de laquelle les électrons galopent encore il y a peu à une vitesse proche de celle de la lumière – ils font 350 000 fois le tour des 844 mètres de circonférence en une toute petite seconde. Si l'ancien accélérateur d'électrons a désormais disparu, d'imposants blocs métalliques rouges et bleus, flambant neuf, y ont déjà trouvé place. « Ce sont les nouveaux girders », souligne fièrement Jean-Claude Biasci, un des coordinateurs de ce chantier hors norme mobilisant deux cents scientifiques, ingénieurs et techniciens de l'ESRF. « Ces « girders », 129 au total, doivent être alignés entre eux avec une précision de 50 micromètres. Chacun pèse 12 tonnes dont 6 tonnes pour les différents blocs d'aimants et les chambres à vide. » Ces aimants enserrant le minuscule tube de vide dans lequel circulent les électrons afin de courber la trajectoire de ces derniers.

C'est justement lorsque les électrons sont déviés par le champ magnétique qu'ils se mettent à rayonner. Une quarantaine de collecteurs, sous la forme de longs tuyaux argentés, prennent alors la tangente ici et là afin de distiller les précieux faisceaux de rayons X vers les

instruments. Si quelques-uns filent jusqu'à plusieurs centaines de mètres vers des laboratoires situés à l'extérieur, la plupart terminent leur course dans les cellules instrumentales moyennes à l'anneau de stockage. Dans l'une d'entre elles, le jeune chercheur mexicain Hiram Castillo poursuit l'interprétation de ses données acquises avant l'arrêt du synchrotron. Scientifique permanent à l'ESRF, il conduit des recherches sur l'écotoxicité des nanomatériaux, tout en partageant son expertise en spectroscopie par rayons X avec ses collègues visiteurs. Il espère que cette source de 4^e génération lui permettra d'augmenter considérablement la résolution à la fois spatiale, temporelle et chimique de ses analyses : « Nous pourrions traiter beaucoup plus d'échantillons et modéliser le devenir des nanomatériaux à tous les niveaux, des eaux usées, aux sols, aux plantes, jusqu'au corps humain », se réjouit-il.

« Avec ce programme de modernisation, nous continuons à développer des sources de rayons X dont la brillance sera bientôt de 15 ordres de grandeur supérieure aux sources de rayons X traditionnels de laboratoires », renchérit fièrement Jean Susini – en termes de distance physique, c'est un peu comme de passer du millimètre à la distance entre la Terre et Pluton ! « Le problème est que la progression de notre capacité à produire des rayons X va plus vite que l'évolution technique des détecteurs et des ordinateurs nécessaires pour mesurer et traiter les données », souligne-t-il. Précédemment, l'ESRF produisait déjà plusieurs pétaoctets de données par an, soit l'équivalent d'au moins 10 fois la bibliothèque du Congrès des États-Unis si ses presque 23 millions de livres étaient entièrement numérisés. Si bien qu'en s'éloignant de ce campus scientifique hors norme, on ne sait plus très bien si le léger vertige qui nous prend vient des montagnes qui enserrant la route ou de ce parfum de démesure qu'inspirent ces géants européens de la mesure scientifique. ||



Au pic du Midi, la tête dans les étoiles

UNIVERS 

Astronomie. En octobre 2018, David Darson, du Laboratoire de physique de l'École normale supérieure¹ de Paris, a passé cinq jours et cinq nuits à l'observatoire du pic du Midi, dans les Pyrénées. Sa mission : capter des images du Système solaire avec la caméra infrarouge nouvelle génération qu'il vient de développer.

TEXTE LAURE CAILLOCE, AVEC CHARLOTTE NORMAND, DU DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE (ENS)

PHOTOS HUBERT RAGUET/DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE DE L'ENS/OBSERVATOIRE DE PARIS/OBSERVATOIRE MIDI-PYRÉNÉES/CNRS PHOTOOTHÈQUE. SAUF PAGE 29 : D. DARSON, F.COLAS, J. DUBOIS,/LPENS/IMCCE/S2P/IMVIA.

1. La coupole Gentilly abrite le télescope T1m, exclusivement dédié à la Station de planétologie des Pyrénées. Son directeur, François Colas, aide David Darson dans ses observations.

¹ Unité CNRS/ENS/Université PSL/Sorbonne Université/Université Paris-Diderot/Sorbonne Paris Cité.





2

2. Pour faire apparaître les zones de faible et de forte luminosité sur un même cliché, la caméra HDR choisit les temps de pose pixel par pixel. Consommation et stockage sont ainsi réduits.

3. Les quatre tonnes de métal et les 400 kg de miroir du télescope T1m sont mis en mouvement au gré des différents tests. David Darson peut y monter sa caméra.



3



4



4. L'observatoire du Pic du Midi a été érigé à la fin du XIX^e siècle à 2 877 mètres d'altitude. Aujourd'hui encore, le ciel y est si pur qu'il a été labellisé Réserve internationale de ciel étoilé.

5. Après trois nuits à la météo peu propice, le ciel s'ouvre enfin. Planètes et étoiles se révèlent à la caméra de David Darson dans un luxe de détails.



5



6



7



8



6. On aperçoit Saturne et ses anneaux. Comparé au visible, l'infrarouge donne accès à des caractéristiques physiques des corps célestes autrement inaccessibles.

7. Sirius, l'étoile la plus lumineuse du ciel, apparaît exceptionnellement avec Sirius B (le point lumineux situé au-dessus de l'étoile), généralement occultée par le flux de lumière de sa grande sœur.

8. Et voici Jupiter et sa « grande tache rouge » - qui paraît blanche dans l'infrarouge.



Lire l'intégralité du « Carnet de mission au pic du Midi » sur lejournald.cnrs.fr

» Venez découvrir l'observatoire du pic du Midi le 8 Juillet 2019, lors d'une visite guidée. Retrouvez tous les événements organisés pour les 80 ans du CNRS sur 80ans.cnrs.fr



Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

Coquillages, les sentinelles des océans

TERRE ● VIVANT ●

Environnement. Pollution, température de l'eau, concentration en oxygène... Coquilles Saint-Jacques et autres bivalves constituent de précieuses archives sur l'environnement et le climat. Des chercheurs bretons, à l'origine de cette découverte, parcourent les mers pour les étudier. Cet été, une grande exposition à Brest permettra de découvrir leurs travaux aux pôles.

PAR GAËL HAUTEMULLE

La quête d'indices sur le réchauffement climatique conduit les chercheurs jusqu'aux eaux froides du Groenland.

Brest, à la pointe ouest de la Bretagne. Tout commence dans le Finistère. Depuis ce bout du monde avancé dans l'océan Atlantique, les chercheurs du Laboratoire international associé Benthic Biodiversity Ecology, Sciences and Technologies (LIA BeBest)¹ partent régulièrement explorer les mers du globe, de l'île d'Ouessant au Maroc, de la Nouvelle-Calédonie à l'Antarctique en passant par la Mauritanie. Leur quête est surprenante : ils sont à la recherche de mollusques bivalves de la famille des pectinidés. Notamment, les célèbres coquilles Saint-Jacques (*Pecten maximus*) et leurs cousins, les pétoncles.

Non par gourmandise, mais par soif de connaissances. Car depuis plus de vingt ans, ils ont découvert et démontré qu'il était possible d'utiliser ces animaux comme des archives environnementales. Température et salinité de l'eau, concentrations en oxygène ou en contaminants, état du phytoplancton dans leur environnement naturel... « *Leur squelette externe, c'est-à-dire leur coquille, enregistre toutes sortes d'informations écologiques très utiles à la compréhension des écosystèmes côtiers* », explique Laurent Chauvaud directeur de recherche au Laboratoire des sciences de l'environnement marin² et coordinateur de BeBest qui appartient à ce Laboratoire. À la clé, des quantités de données très utiles pour reconstituer les climats du passé, suivre le réchauffement actuel mais aussi les épisodes de pollution. Avec un sens



© E. Amice/Lemmar/CNRS Photothèque

Les stries sur la coquille de l'astarte, mollusque bivalve, témoignent de son âge, mais aussi des perturbations du milieu auxquelles l'animal a été soumis.

du détail inédit : aujourd'hui, les bivalves nous renseignent sur l'environnement marin avec plus de précision temporelle que les cernes annuels de croissance d'un arbre sur Terre, ou que les strates d'une carotte de glace pour les pôles !

Chaque jour, par exemple, *Pecten maximus* enregistre la température de l'eau de mer, à 0,5 °C près, à l'instar d'un thermomètre médical. Mieux encore : les chercheurs, dont le jeune docteur Pierre Poitevin de l'Université de Bretagne occidentale, ont appris à faire parler le pétoncle géant de l'archipel Saint-Pierre-et-Miquelon, dans l'Atlantique. L'analyse de sa coquille livre des informations détaillées et précises, au quart d'heure près, sur son environnement !

Pour en arriver là, Laurent Chauvaud et son équipe ont appris année après année à décoder les informations archivées par les coquillages. Ils ont observé et mesuré les distances entre les microstries présentes à la surface des coquilles. Et sous la loupe binoculaire, ils ont enchaîné les découvertes : chaque distance séparant ces microstries est le résultat de la croissance journalière de la coquille observée et la

diminution de ces distances est liée aux facteurs d'altération de cette croissance. Par exemple, un refroidissement de l'eau de mer.

La mise en évidence de cet impact de la température de l'eau remonte à l'an 2000, lors d'une plongée à Bergen, en Norvège. Plus pauvre en nitrates et autres sels nutritifs que les baies bretonnes, ce littoral nordique leur a permis de corrélérer des ralentissements de croissance avec des jours précis d'*upwelling* (remontées brutales d'eau froide), le temps d'une journée d'été, sous l'effet de forts vents de nord-est, parallèles à la côte³.

Eau mitigée et nourriture équilibrée

« *Les coquilles norvégiennes présentaient, ces jours-là, des accidents de croissance, se souvient le chercheur. Comme tétanisées par l'eau froide, elles n'avaient grandi que de l'équivalent d'une strie d'hiver en plein mois de juillet !* » Une nouvelle approche était née : l'étude des stries des Saint-Jacques.

Nos Champollion des océans ont découvert un autre facteur jouant sur la distance entre les stries : une dégradation brutale de la nourriture des mollusques. En effet, quand survient une efflorescence (un *bloom*) d'algues toxiques ou, comme souvent en Bretagne, un excès de phytoplancton (dû aux nitrates des effluents agricoles), pourtant le plat préféré des Saint-Jacques, leur coquille croît moins vite, voire plus du tout. « *Vous pouvez adorer la choucroute*, explique Laurent Chauvaud. *Si le plat devient copieux au point de vous empêcher de respirer, vous ...*

1. Le LIA BeBest associe des chercheurs de toutes les disciplines, des entreprises privées et des artistes. S'appuyant sur la collaboration entre le CNRS, pour la France, et l'Ismer, pour le Québec, et sur leurs réseaux de partenaires, il s'insère dans le cadre de l'Institut maritime France-Québec avec le soutien du CNRS et de l'Université de Bretagne occidentale (UBO), et met en commun les moyens de recherche, les savoir-faire et les capacités de formation de deux groupes de recherche, canadien (Ismer-Uqar, à Rimouski) et français (IUEM-UBO, Lemmar, à Brest). 2. Unité CNRS/UBO/IRD/Ifremer. 3. Cet effet de thermocline a été étudié, puis modélisé par l'océanographe et physicien, Pascal Lazure, chercheur de l'Ifremer, au sein du Laboratoire d'océanographie physique et spatiale, associé à BeBEST.



© J. GAUMY/MAGNUM PHOTOS

L'analyse de la coquille du pétoncle géant livre des informations détaillées, et précises au quart d'heure près, sur son environnement !

À Brest, Océanopolis met à la disposition des chercheurs des aquariums équipés afin qu'ils étudient coquilles Saint-Jacques et autres bivalves.

© E. AMICEL/EMAR/CNRS PHOTOTHÈQUE



... risquez de ne plus avoir envie de vous nourrir ! »

Oui, mais alors comment faire pour ne pas confondre tous ces indices (en l'occurrence la température de l'eau et le régime alimentaire) qui s'offrent à nos scientifiques ? « Ici, la *schlérochimie* entre en jeu, répond Laurent Chauvaud. *Nous nous sommes intéressés, non plus seulement à la structure de la coquille, mais à sa composition chimique.* »

Étude de la composition chimique

Ce sont les travaux du biogéochimiste et écologue Julien Thébaud, en Nouvelle-Calédonie, qui ont permis cette avancée. Sur place, les chercheurs voulaient savoir si l'exploitation de la réserve de nickel avait contaminé l'un des plus beaux lagons du monde, abritant 25 espèces de pectinidés. Or en croisant leurs données, ils se sont aperçus que des traces de métaux, comme le baryum et le molybdène, dans les coquilles étaient corrélées aux efflorescences du phytoplancton, ses excès ou encore sa sédimentation. En 2005, ils

démontrent que les isotopes de la calcite des coquilles donnent a posteriori des informations journalières précises sur la température de l'eau. Et que la présence d'isotopes d'éléments traces (métalliques), contenus dans la coquille, nous éclaire sur la dynamique du milieu. La révolution scientifique est en marche, faisant de la Saint-Jacques et de ses congénères, des thermomètres enregistreurs journaliers et, plus largement, des témoins de l'environnement à travers le temps. Rapidement, les chercheurs prennent conscience des précieuses archives qui leur tendent

ISOTOPES

Atomes qui possèdent le même nombre d'électrons et un nombre différent de neutrons.

ÉLÉMENTS TRACES

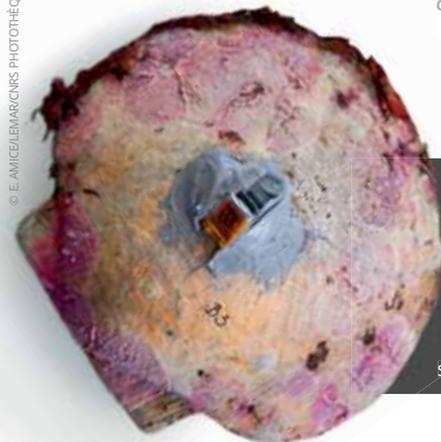
Éléments présents à l'état de trace dans le sol, appartenant à un ensemble comprenant des métaux (cadmium, cuivre, mercure, plomb...), ou des éléments non métalliques (arsenic, fluor), ou des oligo-éléments.

les bras. Car ces coquillages sont présents, à foison, du Maroc à la Norvège, jusqu'à 500 mètres de profondeur, et depuis 25 millions d'années ! De quoi les aider dans leurs « enquêtes » sur le réchauffement climatique ou l'histoire des écosystèmes de la planète.

L'indic qui venait du froid

Mais les précieuses informations que fournit la coquille Saint-Jacques ne suffisent plus à satisfaire l'appétit de connaissances des chercheurs du LIA BeBest. En cause ? Sa courte durée de vie : de quatre à cinq ans. À la recherche d'archives contenant des périodes de temps longues, qui permettront de statuer sur l'impact de changements globaux, comme l'actuel réchauffement climatique, les scientifiques convoitent désormais des bivalves longévives : la *Laternula* d'Antarctique, quadragénaire ; l'amande de mer *Glycimeris glycimeris* de la rade de Brest, dont la durée de vie est comprise entre 70 et 80 ans ; la mye *Mya truncata* de l'Arctique, l'astarte ou le pitot *Cyrtodaria siliqua*, de fringants centenaires ; et,

© E. AMICEL/EMAR/CNRS PHOTOTHÈQUE



L'accéléromètre fixé sur la coquille de ce pétoncle géant enregistre ses déplacements à chaque seconde.



© E. AMICE/ROCNRS PHOTO THÈQUE

En Nouvelle-Calédonie, l'accéléromètre de ce bémotier permettra peut-être de comprendre les modifications comportementales dues à des stress environnementaux.

surtout, la palourde noire de Saint-Pierre-et-Miquelon, *Arctica islandica* : 500 ans de durée de vie !

Largement répandue sur les fonds sableux de l'archipel, celle-ci détient le record de longévité d'une espèce animale non coloniale, c'est-à-dire coraux exceptés. « *Arctica islandica* est un véritable parchemin ! s'enthousiasme Laurent Chauvaud. Depuis plusieurs siècles, cet animal endogé (qui vit dans le sol, NDLR), filtreur et immobile, enregistre, dans le carbonate de calcium de sa coquille, et au rythme d'une strie annuelle, des informations qui vont permettre de décrire l'environnement des eaux de la façade ouest de l'Atlantique nord. »

C'est d'ailleurs cet « indic » que les chercheurs sont partis interroger à Saint-Pierre-et-Miquelon. Aux confluences du Saint-Laurent, des courants du Labrador et du Gulf Stream, l'archipel connaît l'un des plus forts réchauffements actuels. Grâce aux informations biologiques enregistrées, année après année, strie après strie, par *Arctica islandica* dans sa coquille, les scientifiques

veulent reconstituer le climat local durant les siècles passés. Et contribuer à élaborer un scénario pour le siècle à venir.

Et les pôles ? En Antarctique, les chercheurs s'intéressent à un pétoncle austral circumpolaire et à ses cousines, les myes. Les archives environnementales livrées par ces animaux renseignent sur les variations saisonnières de la glace et donc sur l'impact du réchauffement climatique. Sous la banquise, privées de lumière pendant les cinq ans d'une absence de débâcle, non loin de la base scientifique de

Dumont-d'Urville, les algues phytoplanctoniques sont rares et les algues laminaires disparaissent. Mais pas les pétoncles, malgré la raréfaction de leur nourriture !

Pour les ausculter, les plongeurs-chercheurs, qui n'ont froid ni aux mains ni aux yeux, ont développé, avec l'Institut polaire Paul-Émile-Victor, leur voisin brestois, toute une culture de la recherche sous-marine en milieu polaire, « faite d'ingéniosité, de ratages et de bricolage ». Ils ont appris à creuser des trous de 12 m² dans la banquise pour accéder à l'eau libre, sous 1 mètre de neige et 3 mètres de glace, avant de plonger dans une eau à -1,8 °C, au milieu des icebergs, d'y faire des photographies et des manipulations fines. « Tout cela, avec des gants de boxe ! », plaisante Laurent Chauvaud.

Si les mollusques recèlent de précieuses données climatiques, ils peuvent aussi être diserts sur les pollutions qui touchent leur environnement. C'est d'ailleurs le point de départ des travaux de nos scientifiques. Au début des années 1980, confrontés à la raréfaction des ...

“*La coquille Saint-Jacques et ses congénères sont présents du Maroc à la Norvège depuis 25 millions d'années !*”

Avant de plonger sous la banquise, les chercheurs doivent creuser des trous pour accéder à l'eau libre, sous 1 m de neige et 3 m de glace.



© G. GAUM/MAGNUM PHOTOS



© E. AMICE/LEMAR/CNRS PHOTO THÈQUE

... populations de Saint-Jacques, les pêcheurs de la rade de Brest alertent les enseignants-chercheurs de l'Université de Bretagne occidentale et les chercheurs du Centre national d'exploitation des océans (Cnexo, futur Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, ou Ifremer), afin de comprendre pourquoi cette espèce a disparu d'un écosystème pourtant si favorable à l'origine. Les chercheurs identifient les causes : rejets en excès de nitrates et efflorescences d'algues toxiques.

Révélateurs de pollution

Depuis ces premiers pas, les cas d'étude se sont multipliés, souvent à la demande des professionnels et des élus locaux. Les scientifiques ont par exemple étudié les coquillages de Belle-Île-en-Mer, dans le Morbihan, ayant vécu au début du XXI^e siècle, pour en apprendre davantage sur la pollution sous-marine consécutive au naufrage du pétrolier *Erika*, en décembre 1999. Parfois, le hasard permet aussi d'identifier des pollutions inattendues. Ainsi, en 2018, Jean-Alix Barrat, géologue

spécialiste des micrométéorites, a mis au jour un lien entre la prescription de contrastants IRM aux patients de l'hôpital de Brest et la présence de gadolinium, métal faisant partie des terres rares, dans les coquilles Saint-Jacques de la rade.

Pour Laurent Chauvaud, cela ne fait aucun doute : mollusques et coquilles constituent un trésor scientifique dont il faut prendre

“Pour ausculter les palourdes dans des eaux à -1,8 °C, les plongeurs-chercheurs ont développé toute une culture de la recherche sous-marine en milieu polaire.”

soin. En témoigne la « pectothèque » comme l'appelle le chercheur, bien à l'abri dans les caves de l'Université. *« Trente années de coquilles Saint-Jacques y sont aujourd'hui archivées. Autant d'indicateurs fiables, et journaliers, de leur croissance, de la température de l'eau, de la variation du phytoplancton ! »* Leur archi- vage pourrait aussi ouvrir de nouvelles voies.

De la forme à la croissance

Développant de nouveaux modèles mathématiques, Jennifer Coston-Guarini les étudie par exemple pour comprendre le lien entre la forme des coquilles et la croissance. *« La coquille n'est que temps qui passe »* : un chercheur écossais, D'Arcy Wenworth Thompson, a érigé cette idée en loi fondamentale. Mais pour la chercheuse, il n'avait pas pris en compte les contraintes de l'environnement, omettant que la forme, elle aussi, témoigne des propriétés des environnements côtiers dans lesquels les individus grandissent. Autrement dit, après la distance entre les stries et la composition



En Antarctique, sous la banquise, un plongeur contrôle et récupère un hydrophone, appareil qui enregistre le bruit des mouvements des animaux marins plutôt que les mouvements eux-mêmes.

La palourde noire de Saint-Pierre-et-Miquelon peut vivre jusqu'à... 500 ans ! Un record de longévité qui en fait une mine d'informations sur les climats passés et un allié de taille pour des scénarios futurs.



© B. DEROCHE

chimique, les scientifiques pourront peut-être bientôt déduire des informations environnementales de la forme d'un mollusque !

Mais ce n'est pas tout : les scientifiques scrutent aussi les modifications comportementales entraînées par des stress environnementaux. À commencer par les mouvements des mollusques... Ces derniers se voient par exemple équipés d'accéléromètres, semblables à ceux de nos téléphones portables, bricolés grâce à des Lego fixés sur la coquille, et qui enregistrent les déplacements du bivalve à chaque seconde. Pour moins « déranger » l'animal, les chercheurs ont eu l'idée de déployer des hydrophones. Tels des paparazzis en quête de sons indiscrets, ils souhaitent capter, sous l'eau, le bruit des mouvements des animaux, plutôt que les mouvements eux-mêmes. Aujourd'hui, les plongeurs du LIA BeBest tendent leurs micros pour encore mieux observer la faune sous-marine. Et font écouter au visiteur l'étrange

chant des homards, langoustes, morses, mollusques et oursins...

Cette nouvelle approche trouve écho auprès d'autres pêcheurs, cette fois de la baie de Saint-Brieuc, dans les Côtes-d'Armor, où les coquilliers s'inquiètent : quels seront les impacts, sur la ressource, du parc éolien de la société Ailes Marines ? « *Le programme IIMPAIC étudie les effets acoustiques complexes des battages de pieux sous-marins sur le recrutement des larves dans la colonne d'eau* », explique Frédéric Olivier, chercheur du Muséum national d'histoire naturelle, au sein du laboratoire Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques⁴, associé au LIA BeBest.

Le chant des mollusques

Pour cela, ce spécialiste de l'écologie larvaire a installé une batterie de haut-parleurs dans l'écloserie du Tinduff à Plougastel-Daoulas, près

de Brest, avant de scruter les potentiels retards de croissance des naissains de coquilles Saint-Jacques. L'idée a fait des émules. Qui pointent dorénavant leurs hydrophones dans de nombreuses directions. « *De la rade de Brest, il sera bientôt possible de dessiner un paysage sonore sous-marin* », promet Laurent Chauvaud, un sourire aux lèvres.

Un peu à l'étroit dans son bureau dont le luxe est de donner à contempler la houle de noroît (vent du nord-ouest) dans le goulet de Brest, le benjamin du LIA BeBest, Youenn Jézéquel, défriche des pans entiers de la recherche en acoustique passive, forçant au passage le respect de l'un des pionniers en la matière, Jelle Atema, du laboratoire américain de Woods Hole où réside aussi un ami du groupe, Julien Bonnel. ...



Cet article a été publié dans la revue **cahiers de science** #6

4. Borea (CNRS/MNHN/Sorbonne-Université/Université de Caen Normandie/IRD).

Arctic Blues: les pôles s'exposent à Brest

Cet été, les Ateliers des Capucins à Brest accueillent l'exposition Arctic Blues, construite autour des missions aux pôles de l'équipe du LIA BeBest. Les recherches de l'équipe de Laurent Chauvaud, directeur de recherche au Laboratoire des sciences de l'environnement marin, y seront mises en récit au travers des œuvres des artistes qui accompagnent les chercheurs sur le terrain depuis de nombreuses années. Les visiteurs pourront ainsi admirer les photos de Jean Gaumy, de Benjamin Deroche et d'Erwan Amice, plongeur au CNRS, ou encore la vidéo de Jean-Pierre Aubé. Au cœur de cette exposition, un dôme spectaculaire, immersif, plongera le visiteur dans les créations sonores et visuelles réalisées par trois musiciens, Maxime Dangles, Vincent Malassis et François Joncour. Ce projet est réalisé en collaboration avec La Carène, scène des musiques actuelles de Brest. Le CNRS, aux côtés des Ateliers des Capucins, de Brest Métropole et d'autres institutions, est partenaire de cet événement, dont le commissariat est assuré par Emmanuelle Hascoët.



Informations sur
» www.fovearts.com

... Youenn Jézéquel pointe ses hydrophones vers les sons à basses fréquences (100 Hz) émis par les homards... Et décrit avec passion le son étourdissant, pour ses proies, de la crevette pistolet.

À la croisée des regards

Mais pour Laurent Chauvaud, le travail du scientifique ne doit pas s'arrêter là. Sa mission est bien sûr de transmettre mais aussi d'alerter les citoyens des changements et des risques en cours. Le déclic se fait durant une plongée polaire où il est saisi d'effroi. « *L'effroi devant la certitude de la catastrophe* »,

précise-t-il. Comment, pour un scientifique qui n'en a pas l'habitude, trouver les mots, dépasser son inconfort émotionnel, raconter sa stupeur devant l'énormité d'un changement climatique ? Pleine mer, une exposition de l'agence Magnum Photos, lui apporte une réponse : « *Tout ce que je cherchais alors à exprimer était présent, sous mes yeux, dans une photographie de Jean Gaumy!* » C'est pour lui une révélation : des artistes doivent partager leurs missions scientifiques. Depuis sept ans, avec la société Fovearts, qui assure la direction artistique et le pilotage de ces résidences, les



Plongeur lors d'une mission au Groenland, en 2018.

© E. AMICE/LEMARCONIS PHOTOBÉRIQUE

scientifiques du LIA BeBest emmènent, à Saint-Pierre-et-Miquelon, au Groenland, au Spitzberg, tantôt les photographes Jean Gaumy et Benjamin Deroche, tantôt les plasticiennes Sandrine Paumelle et Emmanuelle Léonard, tantôt le vidéaste Jean-Pierre Aubé ou l'écrivain Jean-Manuel Warnet. Qui écrit dans son ouvrage *Avant la débâcle*⁵ : « *On ne veut pas être happé par l'eau glacée. Alors, on lève le regard sur l'immensité du vide. On avale la lumière. Le silence est bleu.* » Laurent Chauvaud est formel : « *Les artistes partagent le terrain d'expérience et d'humilité des scientifiques.* » À Brest, à partir de juin, une exposition permettra au grand public de découvrir ces recherches grâce aux images, aux installations et aux créations sonores de ces artistes (lire ci-dessus). Et de changer notre regard sur ces précieux témoins qui peuplent les littoraux et les fonds marins du monde entier. ||

⁵ *Avant la débâcle*, Jean-Manuel Warnet, Éditions autonomes, 2018.

EN ACTION



*Où l'on découvre la première image
d'un trou noir, des équations
pour l'agriculture et des innovations
à la pointe de la technologie.*

ILLUSTRATION : MAX LÖFFLER POUR CNRS LE JOURNAL

Astronomie. Le 10 avril, le monde découvrait la photo d'un trou noir, niché au cœur de la Galaxie M87. Une première ! Explications depuis l'Espagne, au pied du radiotélescope de l'Iram qui a contribué à l'événement.

PAR VAHÉ TER MINASSIAN

Un trou noir sort de l'ombre

Une énorme antenne interroge d'un œil suspicieux les mystères du Cosmos... « Voici, le télescope de 30 mètres de l'Iram qui a contribué à réaliser la toute première image d'un trou noir », annonce fièrement Frédéric Gueth, chargé de recherche CNRS et directeur adjoint de l'Institut de radioastronomie millimétrique (Iram) en se dirigeant vers une porte du bâtiment placé au pied de ce dispositif de géant. C'est en effet ici, à 2 850 mètres d'altitude, sur les pentes du Pico Veleta, en Andalousie, dans le sud de l'Espagne, que fut recueillie en avril 2017, une partie des données ayant servi à l'élaboration du cliché dévoilé le mercredi 10 avril par la collaboration internationale Event Horizon Telescope (EHT) : l'ombre de M87*, trou noir supermassif du centre de la Galaxie M87 !

Contrairement à ce que l'on a d'abord cru, un tel objet ne se réduit pas à un point ou à une singularité perdue dans l'immensité du Cosmos. Il est délimité par une frontière intangible et invisible appelée horizon des événements, au-delà de laquelle rien ne peut revenir. C'est l'existence de cet horizon des événements associée aux trous noirs que démontre l'image diffusée par la collaboration EHT. La découverte confirme aussi, pour la première fois de manière directe, la validité des équations de la relativité générale d'Albert Einstein dans un régime de forts champs de gravité. Mais avant d'en arriver là, bien des efforts ont été nécessaires.

En effet, explique Frédéric Gueth en pénétrant dans la salle de contrôle où des écrans pilotent la titanique machine, fonctionnant dans le domaine des ondes

millimétriques : « Projeté sur la voûte céleste, un horizon des événements a l'aspect d'un disque parfaitement noir, plus ou moins aplati. Heureusement, les trous noirs sont rarement des astres isolés. Ceux repérés au centre des Galaxies occupent des régions riches en étoiles, en poussières et en gaz. » Cette matière en orbite autour de ces objets cosmiques forme un disque d'accrétion dont l'échauffement produit un rayonnement intense caractéristique. Toutefois, elle devient invisible, dès lors qu'arrachée à cette structure annulaire, elle franchit la limite de l'horizon des événements. Créant une région sombre sur un fond brillant : l'ombre du trou noir.

Problème de taille

L'image que renvoie un tel objet vers un observateur lointain, n'a rien d'intuitif. Dès 1979, Jean-Pierre Luminet, alors jeune chercheur au CNRS, l'a modélisée en prenant en compte les propriétés physiques de la matière soumises à ces conditions infernales et la façon dont la structure de l'espace-temps – notamment la trajectoire des rayons lumineux qui la traversent – est affectée par la gravité du trou noir. Le cliché diffusé par l'équipe du EHT montre l'ombre de M87* vue sous un angle d'inclinaison du disque d'environ 60° avec ce dernier tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. On y distingue dans le halo lumineux entourant la région sombre centrale, une zone plus brillante sur un seul côté. Celle-ci est caractéristique d'une image déformée par la présence du trou noir.

Autre problème qu'ont dû surmonter les scientifiques : la taille. En effet, l'horizon des événements

► Image du trou noir supermassif M87* dévoilée par la collaboration EHT le 10 avril 2019.

► La Galaxie M87, qui abrite M87*, photographiée par Hubble.

► La collaboration internationale EHT réunit huit observatoires répartis dans le monde.



IN SIGHT, SgrA* AND THE HUBBLE LIGHT BEAM TEAM (STECIAURON, A CALTECH/UCSD/UTB, COLE HERZBERG INSTITUTE OF ASTROPHYSICS) AND E. BALTZ (STANFORD UNIVERSITY)

d'un trou noir ne délimite qu'un minuscule volume d'espace. Une sphère de quelques dizaines de kilomètres de diamètre à peine lorsque ce dernier est issu d'une simple étoile massive. Conséquence, poursuit Frédéric Gueth : « Avec les moyens actuels, les astro-

nomes ne peuvent espérer observer que les trous noirs supermassifs les plus proches. » Et ils ne disposent pour cela que de deux cibles potentielles : Sagittarius A* (en abrégé SgrA*), l'objet de 4,14 millions de masse solaire qui occupe le centre de la Voie lactée à 26 000 années-lumière de la Terre. Et M87*, géant de 6,5 milliards de masse solaire, placé au cœur de la Galaxie elliptique Messier 87 (M87), dans la constellation de la Vierge.

Mais, le défi n'en restait pas moins considérable. En effet, l'horizon des événements de M87* a un rayon compris entre 65 et 123 unités astronomiques – mais il s'agit de le discerner à 50 millions d'années-lumière de distance ! Même en profitant de l'effet de loupe dû aux lentilles gravitationnelles créé par la relativité générale, les astronomes doivent distinguer une ombre occupant sur la voûte céleste un angle inférieur à 25 micro-arc secondes. Hors de portée des plus puissants télescopes !

D'où le projet EHT. Lancé en 2016, ce programme international, financé pour sa partie européenne via une bourse du Conseil européen de la recherche d'un montant de 14 millions d'euros, consiste à faire appel à une

technique d'interférométrie à très longue base (VLBI¹), rarement utilisée à une telle échelle et à de telles longueurs d'ondes (1,3 millimètre) afin de saisir les images des ombres de SgrA* et de M87*.

C'est à cette expérience mondiale et inédite qu'ont participé les scientifiques de l'Iram. Durant quatre jours, les 5, 6, 10 et 11 avril 2017, leur radiotélescope a, en coordination avec sept autres instruments placés aux États-Unis, à Hawaï, au Chili, au Mexique et en Antarctique – parmi lesquels l'interféromètre géant Alma² –, dirigé son œil successivement vers SgrA* et M87*. Un moment de stress pour l'équipe, car, comme le raconte Pablo Torne de l'Iram qui participait à l'aventure : « La technique n'avait jamais été employée dans ces conditions et il était impossible de savoir si l'on avait réussi. »

L'Image confrontée aux modèles numériques

La quantité de données recueillies au cours du test dépassant de loin les capacités d'Internet, toute l'information fut emmagasinée sur des disques durs qui devaient être acheminés plus tard jusqu'à des centres spécialisés placés à Haystack (États-Unis) et à Bonn (Allemagne). Cette opération ne fut achevée qu'à la fin du mois de décembre. Une fois recombinaison dans les puissants corrélateurs du Haystack Observatory, près de Boston et du Max-Planck-Institut für Radioastronomie à Bonn, les signaux ont été confiés à quatre équipes qui ont travaillé de manière indépendante. Ces groupes ont procédé, chacun de leurs côtés, aux traitements adéquats pour en tirer, selon trois méthodes différentes, des images qu'il a fallu débarrasser de leurs artefacts et confronter aux modèles numériques. Un travail de bénédictin qui a abouti à cette visualisation inédite de M87* ainsi qu'à une estimation précise de la taille de son ombre (22 micro-arc-secondes) et de sa masse : entre 5,8 milliards et 7,2 milliards de fois la masse du Soleil, une valeur cohérente avec les estimations précédentes des astronomes.

La recherche ne s'arrête pas en si bon chemin. Prochaine étape : augmenter la sensibilité du réseau EHT par l'ajout de nouvelles stations d'observation. L'une d'entre elles sera située en France. Il s'agit de l'interféromètre Noema de l'Iram dont les dix (et bientôt douze) antennes de 15 mètres installées à 2 500 mètres d'altitude, sur le Plateau de Bure, dans les Hautes-Alpes, vont rentrer dans la danse. Avec un objectif : arracher aux trous noirs leurs ultimes secrets. II

UNITÉ ASTRONOMIQUE

Distance entre la Terre et le Soleil.



© IRAM

1. Pour Very Long Baseline Interferometry. 2. Pour Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array.



L'agriculture croît dans les mathématiques

TERRE ● NUMÉRIQUE ■

Mathématiques. Réduction des pesticides et des engrais, prédiction des récoltes, adaptation au changement climatique... Face aux multiples défis auxquels l'agriculture est confrontée, les mathématiciens ont des solutions à apporter.

PAR LAURE CAILLOCE

Peut-on mettre l'agriculture en équations ? C'est le défi que tentent de relever les mathématiciens, qui mobilisent pour cela tout un arsenal – modélisation, statistiques, traitement d'image... C'est que la tâche n'est pas aisée. « Les systèmes biologiques sont complexes et il faut être capable de choisir un nombre limité de variables significatives parmi la multitude de processus qui régissent les trois mécanismes de base des plantes : la photosynthèse, la transpiration et l'organogenèse, c'est-à-dire la mise en place continue de nouvelles tiges, feuilles... », témoigne Paul-Henry Cournède, du Laboratoire mathématiques et informatique pour la complexité et les systèmes, à CentraleSupélec. Les biologistes ont une connaissance très fine des phénomènes jusqu'au niveau moléculaire, mais pour pouvoir modéliser la croissance des plantes comme nous le faisons, il faut trouver ensemble la bonne échelle de description. Ainsi, la production de telle hormone, indispensable à la photosynthèse, ne sera pas forcément prise en compte dans le modèle... »

Modéliser la croissance des plantes a des applications très

concrètes et permet notamment de prédire le moment idéal de la récolte, en fonction du type de culture et de la priorité retenue. « Via notre start-up CybeleTech, nous travaillons de façon expérimentale avec des producteurs de blé destiné à la panification, ou encore d'orge de brasserie, afin de leur fournir des estimations précises de la teneur en protéines des grains au moment de la récolte, témoigne Paul-Henry Cournède. C'est en effet ce taux qui détermine le bon développement des levures nécessaires à la confection du pain, comme de la bière... » Une autre collaboration, avec des horticulteurs qui font pousser des légumes sous serre, consiste à contrôler le plus finement possible les variables climatiques à l'intérieur des serres. Le taux d'humidité et le chauffage dépendront des conditions météo, mais aussi du type de culture et de son stade de croissance.

Optimiser l'aquaponie

Les semenciers qui mettent au point de nouvelles variétés tirent aussi un vrai bénéfice de ces modélisations, qui leur permettent d'optimiser leurs essais : sur 100 essais réalisés en différents endroits de la planète,

20 seront conduits en conditions de culture et le reste sera effectué par simulation. Autre avantage de la modélisation : pouvoir prédire la densité idéale de plants à l'hectare, afin d'obtenir le meilleur rendement possible et une utilisation optimale du stock de semence.

Au Laboratoire de mathématiques de Versailles¹, Laurent Dumas a mis ses équations différentielles au service de l'agriculture urbaine – plus précisément, de l'aquaponie, ce dispositif couplant l'élevage de poissons en aquarium et la culture de plantes hors-sol. « Dans ce système, on profite des déjections des poissons pour alimenter la croissance des plantes. Grâce aux bactéries de l'eau, l'ammonium contenu dans les déjections se transforme en nitrites, puis en

▲ Grâce au traitement d'image, le drone de la start-up Chouette repère les premiers signes de maladie dans la vigne.



1. Unité CNRS/Univ. de Versailles Saint-Quentin/Univ. de Paris-Saclay. 2. Production de projections climatiques régionales pour l'Europe.

► Simulation de la croissance de plantes par le logiciel Digiplante du Laboratoire de mathématiques et informatique de CentraleSupélec.

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

nitrates qui nourrissent les végétaux. » Problème : ce cycle complètement fermé nécessite de prêter une attention constante à la qualité de l'eau. « *Des teneurs en nitrites et nitrates de l'eau trop élevées sont en effet nocives pour les poissons* », explique Laurent Dumas, qui a été sollicité (via la plateforme Imose.fr de l'université) par une start-up spécialisée dans l'aquaponie.

Objectif de la jeune pousse : trouver le dimensionnement idéal pour ses installations destinées aux particuliers, afin de se passer des (coûteux) capteurs nécessaires au contrôle de la qualité de l'eau en temps réel. « *Il fallait pour cela trouver le bon équilibre entre plusieurs paramètres*, explique Laurent Dumas. *Le volume d'eau, le nombre de plantes, la quantité de nourriture fournie aux poissons et la fréquence du nourrissage et, enfin, la quantité de bactéries présentes dans l'eau – il est en effet possible d'ajouter des films bactériens pour optimiser le processus de dégradation de l'ammonium.* » Un an de travail a été nécessaire pour développer et valider la modélisation du cycle de l'eau en

▲ Le Laboratoire de mathématiques de Versailles a modélisé le cycle de l'eau en aquaponie.

aquaponie, permettant de prédire la quantité d'ammonium, nitrites et nitrates dans l'aquarium selon la quantité d'eau et de nourriture fournie.

Descendre à l'échelle des terroirs

Changement d'échelle à l'Institut national de recherche agronomique (Inra), où plusieurs dizaines de mathématiciens du département Mathématiques et informatique appliquées cherchent à mettre en équations les phénomènes de grande ampleur qui régissent la vie des cultures : épidémies, plantes invasives ou encore changement climatique. « *Si un nouveau pathogène entre dans un pays, nous devons être capables de savoir à quelle vitesse il va disparaître ou, au contraire, devenir dominant. On travaille sur les vitesses de propagation, la probabilité*

retravaillées pour acquérir les bonnes propriétés statistiques », explique Denis Allard, qui a notamment collaboré au projet de simulation Climator. C'est à cette condition que les filières professionnelles sauront s'adapter au mieux au changement climatique, région par région, terroir par terroir.

La robotique est, elle aussi, mise à contribution pour aider les agriculteurs à mieux gérer leurs exploitations. Grâce au traitement d'image, les drones permettent de repérer la quantité d'adventices (les « mauvaises herbes ») dans les cultures, ou les premiers signes de maladie comme le mildiou caractérisé par l'apparition de taches blanches sur les feuilles de la vigne. Objectif de ces nouveaux outils : utiliser les produits phytosanitaires au bon endroit, au bon moment et à la bonne dose. L'imagerie aérienne, et notamment satellitaire, permet également de calculer l'indice foliaire – la quantité de couvert végétal au mètre carré – afin de prédire le meilleur moment pour la récolte.

Mais le gros enjeu de demain, c'est la donnée. « *Pour affiner les modèles espèce par espèce et les rendre le plus efficaces possible, il faut les alimenter avec un maximum de données provenant des exploitations agricoles* », confirme Paul-Henry Cournède. Ce n'est pas sans poser des enjeux de sécurité : « *sur quelle plateforme ces données seront-elles agrégées et par qui seront-elles utilisées ?* », interroge Denis Allard, qui, plutôt qu'un boum, prédit l'émergence progressive de l'agriculture numérique. « *C'est une transition lente, qui va se faire application par application. Dans les grandes régions céréalières, il y a déjà des exploitations qui utilisent de petits logiciels pour la fertilisation en azote, les drones pour le mildiou commencent à être déployés... On est encore loin de l'intelligence artificielle multicritère.* » II



© S. BONNEL/VIREUX/REA

que le virus diffuse au-delà de son foyer et que les méthodes de confinement s'avèrent insuffisantes », explique Denis Allard, statisticien au laboratoire Biostatistique et processus spatiaux.

Autre dossier crucial pour le mathématicien : l'analyse des projections climatiques de long terme, afin d'accompagner les agriculteurs dans leur mutation. « *Les variables fournies par les grands projets internationaux comme le Giec ou Euro-Cordex², ont un maillage trop grand pour être utilisables à l'échelle de la parcelle. Elles doivent faire l'objet d'une "descente d'échelle" et être*



© CHOUËTE

Entretien. Présent pour la première fois au salon VivaTech du 16 au 18 mai, organisateur de plusieurs événements dont le salon Innovatives SHS, le CNRS affirme cette année son rôle d'acteur majeur de l'innovation. Rencontre avec Jean-Luc Moullet, nouveau directeur général délégué à l'innovation.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT



« Faciliter le lien direct entre invention et innovation »

Vous venez de prendre vos fonctions à la tête de la direction générale déléguée à l'innovation. Quelles sont vos ambitions pour cette direction nouvellement créée au sein du CNRS ?

Jean-Luc Moullet : La mission de la direction générale déléguée à l'innovation (DGDI) est de faire le lien entre l'invention, qui relève du champ de la connaissance et constitue le quotidien de nos scientifiques, et l'innovation, représentée par des produits ou des services nouveaux destinés au marché, qui est plutôt le domaine des entreprises. Pour remplir cette mission il existe plusieurs leviers. En premier lieu, il s'agit d'accompagner la maturation technologique des inventions directement issues de nos laboratoires. Différents programmes concourent à cet objectif au sein du CNRS, selon le stade de développement du projet. Il y a d'abord le programme de prématuration, qui va de pair avec la montée en TRL (Technology Readiness Level) des projets et dont le budget a plus que doublé en 2019. Il y a ensuite les programmes de maturation,

souvent portés par les SATT¹, qui accompagnent les porteurs de projets dans la structuration des projets et avec lesquels on commence à parler produit et marché. Enfin, le CNRS a mis en place une politique, portée par sa filiale CNRS Innovation, qui favorise l'émergence de start-up au travers du programme Rise, qui accompagne chaque année une quarantaine de projets deep tech. Je souhaite renforcer cette dynamique et augmenter le nombre de start-up issues du CNRS, des start-up de qualité dont la chance de survie à cinq ans est forte. Mais il nous faut aussi aller vers les entreprises existantes. C'est le rôle de la direction des relations avec les entreprises (DRE). Il s'agit de permettre aux entreprises d'exprimer leur stratégie de R&D et leurs besoins en ressourcement de connaissances fondamentales. Puis nous devons essayer de voir dans quelle mesure le CNRS peut utilement travailler avec ces entreprises et porter à leur connaissance les recherches que nous conduisons ou que nous envisageons de conduire. La relation peut ensuite se

formaliser au travers de différents canaux : les accords-cadres, les laboratoires communs, des projets collaboratifs, l'organisation de formations sur des compétences que nous maîtrisons, voire la mise à disposition de chercheurs pour conduire un projet spécifique. Nous devons augmenter l'ensemble de ces liens entre nos laboratoires et les entreprises, de manière à augmenter le flux des transferts de connaissances vers le monde économique.

Pour la première fois, le CNRS sera présent au salon VivaTech du 16 au 18 mai, porte de Versailles. Que représente cette participation ?

J.-L. M. : Le salon VivaTech est le rendez-vous de la « tech » mondiale en Europe. Notre venue porte la démonstration de notre capacité d'action en termes d'innovation et nous permet de mettre en avant certaines des start-up issues des laboratoires du CNRS, parmi les plus innovantes. VivaTech représente également une opportunité pour notre organisme de montrer qu'il est un acteur majeur, en Europe, de la deep tech. Celle-ci se définit par des projets d'innovation reposant sur des résultats de recherche fondamentale et constitue depuis quelques années une tendance mondiale forte. Le marché regarde désormais avec un grand intérêt les start-up nées de résultats scientifiques. Les structures publiques s'y intéressent également, comme l'a montré récemment la création du conseil national de l'innovation, chargé de la politique deep tech de la France. Nous nous trouvons donc au sein d'un contexte très favorable car, par essence, le CNRS produit de la deep tech ! Il est important de nous positionner et de montrer nos capacités dans ce domaine.

▲ La présence du CNRS au salon VivaTech sera l'occasion de faire découvrir à un large public qu'il est un acteur majeur de la deep tech.

Des start-up issues du CNRS seront-elles présentes au salon ?

J.-L. M. : Le panel des start-up issues du CNRS illustre, par la qualité des projets et la diversité des positionnements, toute l'étendue du champ des recherches conduites au sein de notre organisme. Nous présentons donc 7 start-up allant du domaine de l'énergie, avec la start-up Tiamat développant des batteries utilisant des ions sodium, au spatial, avec ThrustMe et ses satellites miniaturisés, en passant par les arts et la start-up Mercurio présentant un scanner pour ...

Le CNRS à VivaTech, première!

C'est la première année que le CNRS participe à VivaTech, mais le salon a déjà une réputation bien installée. Ce rendez-vous incontournable de la tech mondiale en Europe avait accueilli l'an dernier plus de 100 000 visiteurs, venus à la rencontre de 9 000 start-up. Pour sa 4^e édition, le salon Viva Technology ouvrira ses portes au Parc des expositions de la porte de Versailles, à Paris, du 16 au 18 mai, dans une configuration élargie : en plus de l'immense hall 1, il investira le hall 2 et le palais des Sports de Paris, où des

personnalités monteront sur la scène, comme le commissaire européen Carlos Moedas, le président de Samsung, ou le champion d'échecs Garry Kasparov... Le stand CNRS sera l'occasion de découvrir 7 start-up issues de l'organisme : Tiamat (énergie), ThrustMe (spatial), Curve One (nouvelles technologies), Mercurio (patrimoine), Sensome (santé), Daumet (luxe), et Bio Inspir' (environnement). Des chercheurs présenteront également leurs innovations au sein de l'espace robotique.



Découvrez les start-up du CNRS présentes à Vivattech sur notre blog « De la découverte à l'innovation » sur lejournal.cnrs.fr



“La deep tech, définie par des projets d’innovation reposant sur les résultats de recherche fondamentale, constitue une tendance mondiale forte.”

... modèles 3D d’objets d’art, ou encore la santé, avec Sensome et ses capteurs ultra-miniaturisés. Le CNRS est sans doute le seul organisme capable de produire des connaissances et des start-up à ce niveau de qualité et de variété.

En plus d’être présent aux grands rendez-vous de l’innovation, le CNRS organise de nombreux événements, notamment le salon Innovatives SHS qui fête sa 4^e édition les 15 et 16 mai à Lille...

J.-L. M. : Le salon Innovatives SHS promeut les activités de valorisation et de transfert des recherches en sciences humaines et sociales. Il constitue une véritable bulle d’originalité sur le terrain de l’innovation. C’est le seul endroit où l’on pourra parler d’innovation sur des sujets aussi variés que l’urbanisme, l’aménagement du territoire, l’apprentissage ou encore l’art... Ce salon met également en avant la notion « d’émergence » : il est important pour notre organisme de recherche de montrer que l’invention sort du laboratoire. Innovatives SHS est une alliance entre des projets présentés dans les laboratoires et les start-up qui en sont issues, le tout avec une prise en compte importante des sujets de société du moment. Le laboratoire Cognition, langues, langage, ergonomie² présente par exemple un projet d’expérimentation avec une voiture autonome : une problématique stratégique tant pour les constructeurs automobiles que pour les pouvoirs publics mais aussi pour le grand public ! Kinemotion, projet issu du Laboratoire sciences cognitives et sciences affectives³, permet de percevoir l’état émotionnel d’une personne via la sémantique de son corps – une innovation qui ouvre de nombreuses perspectives notamment en termes de sécurité... Les questions d’environnement sont

également abordées avec le projet de forêt urbaine issu du département des sciences naturelles de l’Université du Québec, dans l’Outaouais. À noter, la présence de BabyCloud, une plateforme pour le suivi cognitif et linguistique chez le bébé issue du Laboratoire des sciences cognitives et psycholinguistique⁴, qui est un bel exemple de réussite d’un projet lauréat du programme Rise.

Après le big data ou la voiture du futur, le CNRS lance Innovatives Sport avec trois événements dans trois villes : Lyon, Marseille et Paris. Pourquoi le CNRS a-t-il fait le choix de cette thématique ?

J.-L. M. : Au travers des Innovatives Sport, le CNRS démontre que la science est partout... Y compris dans le sport ! Cet événement décliné sur trois villes et trois modèles avec plusieurs appels à participation démontre aussi la valeur ajoutée des recherches multidisciplinaires

Le Mobiliscope, à découvrir

Après Paris en 2013 et 2015, et Marseille en 2017, Lille accueille en mai la 4^e édition de CNRS Innovatives SHS. « Ce salon professionnel illustre la capacité des laboratoires en sciences humaines et sociales à répondre aux attentes de la société et à favoriser le transfert de leurs résultats de recherche vers les collectivités territoriales, le monde associatif, les PME-ETI



▼ En 2017, quelque 1 000 personnes sont venues découvrir les stands présentant les innovations de la recherche en sciences humaines et sociales.

2. Unité CNRS/Université de Toulouse Jean-Jaurès. 3. Unité CNRS/Université de Lille. 4. Unité CNRS/ENS Paris/École des hautes études en sciences sociales.

du CNRS. Ces dernières nous permettent de traiter la thématique du sport aussi bien en termes de performance qu'en termes de bien-être ou de santé. Les Innovatives Sport mettent en avant toutes les facettes du sport et des recherches menées sur ce sujet. De plus, avec l'approche des Jeux olympiques et paralympiques 2024, elles constituent l'opportunité de se fixer un objectif à moyen terme. Le CNRS s'est d'ailleurs impliqué dans le programme Sciences 2024 en partenariat avec plusieurs établissements de l'enseignement supérieur. Plus largement, l'organisme, qui a lancé en décembre dernier le groupement de recherche Sport et activité physique, vient de se voir confier le pilotage du Programme prioritaire de recherche pour la très haute performance sportive, lancé début avril par Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et Roxana Maracineanu, ministre des Sports, et doté de 20 millions d'euros.

Les trois événements Innovatives Sport font écho à ces grandes initiatives.

Le CNRS organise également le 21 mai à Bruxelles la Journée du laboratoire à l'entreprise : les enjeux pour l'Europe. Quel est l'objectif de cette journée ?

J.-L. M. : L'objectif est d'affirmer la présence du CNRS auprès des autorités bruxelloises. Nous souhaitons démontrer les apports du CNRS à la thématique de l'innovation dans le cadre des réflexions en cours au sein de l'European Innovation Council (EIC). Tout au long de la journée, le CNRS proposera des présentations sur les thématiques de recherche partenariale et de transfert de technologies au sein d'un contexte européen, ainsi que des témoignages de chercheurs CNRS et de PME partenaires. Ce sera également l'opportunité pour la Commission de présenter la nouvelle politique de l'EIC. ||

aux Innovatives SHS

et les grands groupes industriels », précise François-Joseph Ruggiu, directeur de l'InSHS du CNRS. Sur une quarantaine de stands, chercheurs et ingénieurs présenteront de nombreuses innovations dans les domaines de la santé, de l'aménagement du territoire, du numérique, de la valorisation du patrimoine ou de l'éducation.

Et parmi ces innovations, les visiteurs pourront y découvrir le Mobiliscope, un outil qui cartographie heure par heure la répartition de la population présente dans les grandes villes françaises. Grâce à ses informations sociales, il renseigne aussi bien les chercheurs que les acteurs publics.

Au cours d'une journée, les lieux visités par les habitants d'une ville révèlent en effet des fractures sociales, au-delà des seuls lieux de résidence. À partir du million de déplacements quotidiens de plus de 220 000 personnes, le Mobiliscope offre un aperçu de leur localisation à différentes heures, et ainsi les changements dans la composition sociale et démographique des quartiers.

Cet outil, librement accessible en ligne, a été mis au point sous la direction de Julie Vallée, chargée de recherche au laboratoire Géographie-cités¹. Les données initiales proviennent d'enquêtes dites de « ménages-déplacements », commandées par les collectivités locales. Elles présentent « le grand avantage d'être standardisées avec des questions identiques pour tous les territoires », selon Julie Vallée.

Les personnes sont interrogées sur tous leurs déplacements de la veille, hors week-end, ainsi que sur leur âge, leur sexe, leur occupation et leur niveau d'éducation. « C'est la force de ces enquêtes, comparé par exemple aux données de téléphonie mobile où le profil sociodémographique des utilisateurs demeure inconnu », ajoute Julie Vallée. D'abord centré sur l'Île-de-France, le Mobiliscope a été étendu au mois de mars à vingt-deux villes françaises et leurs périphéries.

En montrant au cours des 24 heures de la journée la répartition spatiale des populations, l'outil alimente la recherche sur les inégalités sociales. Il intéresse aussi les acteurs publics. « Ils peuvent ainsi affiner leurs diagnostics territoriaux ou encore optimiser les heures d'ouverture de services publics tels que les bibliothèques », conclut Julie Vallée.



>> <https://mobiliscope.parisgeo.cnrs.fr>

CNRS INNOVATIVES SHS

MAISON DE LA VALORISATION EN RECHERCHE PRIMAIRES ET SOCIÉTALES

15 ET 16 MAI 2019

LILLE GRAND PALAIS

<http://innovatives.cnrs.fr>

CNRS Innovatives SHS,
15 et 16 mai 2019,
Lille Grand Palais
>> <http://innovatives.cnrs.fr>

1. CNRS/Univ. Panthéon-Sorbonne/Univ. Paris Diderot/École des hautes études en sciences sociales.

L'Internet des objets doit mieux s'alimenter

PAR MARTIN KOPPE

NUMÉRIQUE

Électronique. Combinant miniaturisation et liaison sans-fil, les appareils nomades ont besoin de sources d'électricité pérennes et rapides : micro-supercondensateurs et microbatteries pourraient être la solution.

[Lire l'intégralité de l'article sur **lejournal.cnrs.fr**](#)

DENSITÉ D'ÉNERGIE

Quantité d'énergie qu'un matériau peut stocker par unité de surface.

De plus en plus d'appareils fonctionnent de manière autonome voire sans contact physique : leur mise en réseau forme ce que l'on appelle l'Internet des objets (*Internet of things* ou IoT). Ainsi, le Smartphone échange constamment avec le monde extérieur pour vérifier si ses applis sont à jour et synchroniser les comptes. Le succès du sans-fil s'accompagne d'une miniaturisation croissante afin de rendre ces objets nomades presque indétectables. Reste que pour fonctionner, il leur faut une source d'électricité.

Batteries et supercondensateurs, à l'échelle macroscopique ou d'une taille micrométrique, libèrent de l'électricité selon le même principe : deux électrodes échangent des ions qui transitent dans un électrolyte. En revanche, les mécanismes de stockage sont différents : la batterie emmagasine les charges dans la masse tandis que le supercondensateur le fait à l'interface entre les électrodes et l'électrolyte. Les batteries sont ainsi capables d'emmagasiner beaucoup plus d'énergie, tandis que les supercondensateurs peuvent la restituer avec plus de puissance et sans s'user. Mais combiner les deux dans un même matériau est impossible.

Des systèmes complémentaires

La solution ? Descendre aux échelles micrométriques et associer les deux systèmes tout en garantissant l'autonomie des capteurs nomades, avec le moins de maintenance possible. « La plupart des objets connectés miniaturisés consomment une puissance moyenne qui doit être maintenue pendant plusieurs minutes ou heures, ce qui correspond aux propriétés des microbatteries. Ils doivent cependant transmettre des données au bout d'un certain temps, par exemple une fois par jour. Cette opération réclame un pic de puissance, que seul un micro-supercondensateur peut fournir. Cet exemple illustre parfaitement la complémentarité des micro-supercondensateurs et microbatteries.

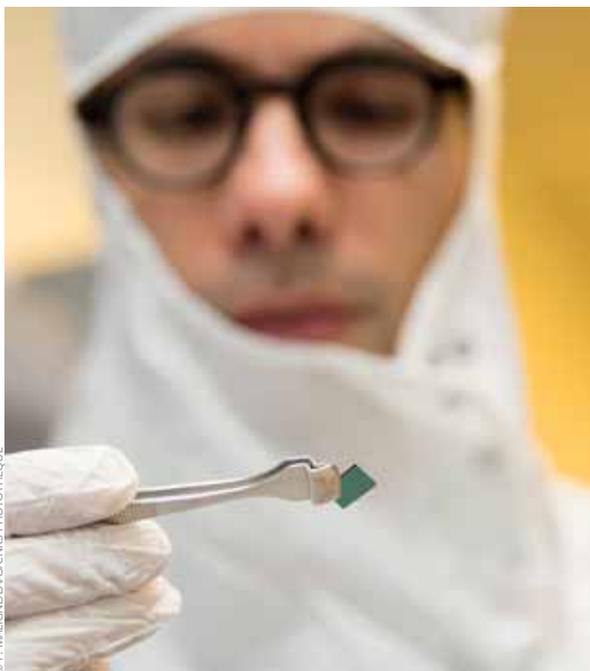
Il démontre ainsi l'intérêt d'avoir cette approche combinée », explique Christophe Lethien, maître de conférences à l'Université de Lille et membre de l'Institut d'électronique, de micro-électronique et de nanotechnologie¹.

Une affaire de surface

En parallèle, les chercheurs s'efforcent d'augmenter la **densité d'énergie** des micro-supercondensateurs. Ils privilégient donc des architectures en trois dimensions, avec des matériaux souvent poreux. Ils démultiplient la surface de l'interface entre les électrodes et l'électrolyte, puisque c'est là que l'énergie est emmagasinée. « *Nous ne voulons pas augmenter la densité d'énergie d'un facteur deux ou trois, mais créer une vraie rupture,* affirme David Pech, chargé de recherche CNRS au Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS. *Nous avons étudié l'oxyde de ruthénium, connu pour sa grande capacité, mais aussi pour son coût prohibitif. Or, aux échelles micrométriques, on en utilise de si faibles quantités que son emploi devient envisageable. »*

Recherche procédé industriel

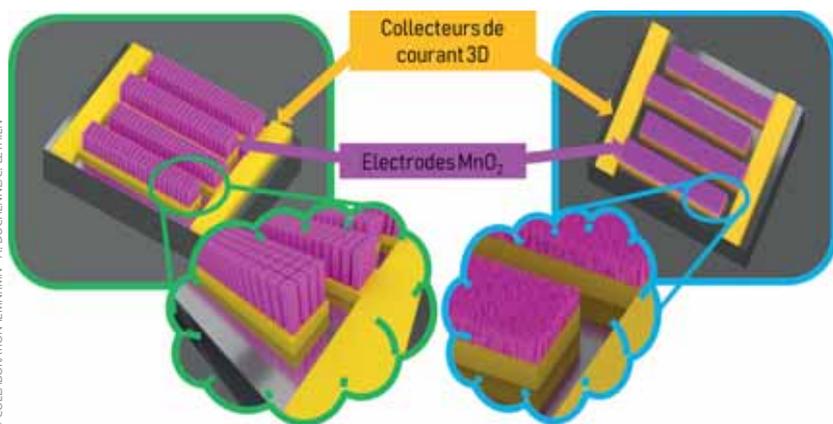
Mais faute d'un procédé de production industriel, aucun micro-supercondensateur n'est actuellement commercialisé. Les prototypes conçus en laboratoire montrent pourtant des propriétés exceptionnelles, comme supporter plusieurs



© F. MAILLON/CNRS PHOTO THÈQUE

Un micro-supercondensateur est un dispositif miniaturisé qui permet de stocker et de restituer rapidement l'énergie électrique.

▶ Micro-supercondensateurs 3D recouverts d'une goutte d'électrolyte (en haut) et d'un électrolyte solide ionogel (en bas).



© COLLABORATION EMMININ - A. DUCHENNEC, LETHIEN

millions de cycles de charge et de décharge quand les batteries d'un Smartphone vont décliner bien avant d'atteindre le millier. « Il faudrait travailler à partir de procédés industriels issus de la microélectronique afin de faciliter les transferts de technologie du laboratoire vers l'industrie, baisser les prix et rendre les méthodes plus reproductibles, détaille Christophe Lethien. Mais le principal verrou des micro-supercondensateurs reste l'électrolyte. »

Problème d'étanchéité

Ce matériau, qui conduit les ions entre les deux électrodes, se présente sous forme liquide dans les micro-supercondensateurs. Ce qui pose un certain nombre de défis d'étanchéité. Souvent corrosif, l'électrolyte s'encapsule mal aux petites échelles, car les parois qui le retiennent sont trop fines. Alors, pourquoi ne pas passer à une version solide, comme pour les microbatteries? « C'est une question de rapidité, répond Christophe Lethien. Les ions circulent plus vite dans un électrolyte liquide que dans un électrolyte solide. Or nous avons justement besoin que les transferts

se fassent le plus rapidement possible pour fournir les pics de courant caractéristiques des micro-supercondensateurs. » Leur constante de temps se compte en effet en millisecondes, contre plusieurs heures pour les micro-batteries. Pour trouver un juste milieu, des équipes françaises, comme celle de Jean Le Bideau et de Thierry Brousse à l'Institut des matériaux Jean Rouxel² ou celle de Patrice Simon du Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux³, développent par exemple des électrolytes sous forme de ionogels. « La recherche française dans le stockage électrochimique de l'énergie s'est structurée depuis huit ans autour du réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E). Avec une bonne dizaine de laboratoires travaillant sur les microbatteries et les micro-supercondensateurs, la France possède un solide savoir-faire scientifique, conclut Christophe Lethien. Malheureusement, peu d'industriels s'y intéressent alors que nous adorerions discuter avec eux pour qu'ils puissent nous expliquer leurs besoins. » ||

1. Unité CNRS/ISEN Lille/Univ. polytechnique Hauts-de-France/Centrale Lille/Univ. de Lille. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre des plateformes de nanotechnologies de l'Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie et du Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (CNRS) dans le réseau Renatech. 2. Unité CNRS/Univ. de Nantes. 3. Unité CNRS/Univ. de Toulouse-III Paul-Sabatier/INP Toulouse.

En bref

Une nouvelle espèce humaine découverte aux Philippines

C'est dans la grotte de Callao sur l'île de Luzon qu'une nouvelle espèce d'humaine a été mise au jour par une équipe internationale : *Homo luzonensis*, identifié grâce à des fossiles datés de 50 000 à 67 000 ans.

Contrairement à ce que l'on a longtemps pensé, plusieurs espèces humaines ont cohabité sur Terre jusqu'à très récemment. La découverte sur l'île de Luzon aux Philippines de petits os de pieds et de mains, de quelques dents, et d'un bout de fémur montre qu'*Homo luzonensis*, hominine (qui regroupe le genre *Homo* et les australopithèques) distinct de tous ceux connus jusqu'ici, vivait encore sur l'île du Pacifique il y a moins de 100 000 ans. On sait déjà qu'à cette époque, *Homo sapiens* sortait à peine d'Afrique, *Homo neanderthalensis* occupait l'Europe et croisait parfois l'homme de Denisova en Asie, tandis qu'*Homo erectus* subsistait à Java et *Homo floresiensis* sur l'île de Florès. « L'histoire remonte à 2007 avec la découverte, d'un métatarse, un petit os du pied, trouvé dans un niveau ancien d'une grotte et daté d'environ 70 000 ans. L'os avait été identifié comme humain mais il ne ressemblait pas complètement à celui d'*Homo sapiens*. La question était alors de savoir s'il s'agissait d'un individu anormal ou d'une autre espèce humaine », explique le paléanthropologue Clément Zanolli, qui a contribué à cette découverte. L'analyse au scanner de phalanges et de dents découvertes en 2015 a révélé que ces fossiles combinaient certains traits morphologiques archaïques observés chez les australopithèques avec des caractéristiques propres aux *Homo erectus* tardifs. D'autres recherches seront nécessaires pour en savoir plus sur le mode de vie et la filiation d'*Homo luzonensis*, et surtout, pour déterminer comment il a atteint une île séparée du continent par des centaines de kilomètres d'océan.

▶ Rendu virtuel de la phalange proximale de pied CCH4 de l'espèce *Homo luzonensis*.



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

© F. DÉTROIT

MATIÈRE

UNIVERS



© C. SCHUNE

Physique.
Les scientifiques
tentent
de comprendre
les relations

entre matière et antimatière grâce à des expériences gigantesques. Explications avec la physicienne Marie-Hélène Schune, lauréate 2019 de la médaille d'argent du CNRS.

Matière et antimatière, les liaisons mystérieuses

PROPOS RECUEILLIS PAR MARTIN KOPPE

Le 1^{er} avril, la première Nuit de l'antimatière (coorganisée par le CNRS) a réuni quelque 4 000 personnes. Mais qu'est-ce que l'antimatière et pourquoi les scientifiques s'y intéressent-ils autant ?

Marie-Hélène Schune¹ : La matière et l'antimatière sont formées d'espèces symétriques : à chaque particule élémentaire de matière correspond son partenaire en antimatière. Ces deux-là partagent des propriétés identiques, comme la masse, la durée de vie ou le spin, mais différent sur leur charge électrique et certaines de leurs propriétés quantiques qui sont inversées. Lorsque l'on se penche sur la théorie du Big Bang et sur l'observation de l'évolution de l'Univers, on fait face à un problème de taille. Le Big Bang part d'une énergie pure qui produit autant de matière que d'antimatière. Toutes deux devraient s'être annihilées, or nous existons grâce à un excès de matière. Cette domination de la matière devrait s'expliquer par un comportement différent de la matière et de l'antimatière, appelé violation de la symétrie CP. Mais quelque chose ne « colle » pas. Le modèle standard de la physique des particules contient bien de la violation de CP, mais en quantité beaucoup trop faible. Donc, en physique des particules, on s'intéresse plus à énumérer et à comprendre les conditions où la symétrie CP est violée qu'à l'antimatière elle-même. C'est le but de nombreuses expériences dans les accélérateurs de particules, tels que le LHC², au Cern³.

VIOLATION DE CP

Cas où la symétrie de C (la conjugaison de charge) et de P (la parité) n'est plus respectée entre une particule et son antiparticule.

STRANGE, BOTTOM, CHARM

Il existe 6 différents types de quarks répartis en trois familles. Celles-ci sont similaires mis à part les masses des quarks. Au sein d'une même famille, les quarks se distinguent aussi par leur charge électrique. Up et down forment la première famille, charm (c) et strange (s) la deuxième et top et beauty (b), la troisième.

Quels sont les cas connus ?

M.-H. S. : Il s'agit des particules contenant un quark s, b et c, respectivement pour strange, bottom et charm et de leurs antiparticules correspondantes. Les quarks ou les antiquarks ne sont pas observés à l'état libre, mais au sein de particules qu'ils composent avec les gluons : les hadrons. Le premier signe de violation de CP a donc été découvert en 1964⁴ pour les hadrons contenant un quark s, suivis des hadrons contenant un quark c, b, en 2001. Pour les hadrons contenant un quark c, cela remonte à seulement mi-mars au LHC ! Les neutrinos sont également étudiés dans cette optique. Certaines théories impliquent qu'ils puissent être leur propre antiparticule, mais personne n'a encore observé la signature d'un tel phénomène.

Comment se déroulent vos expériences sur les quarks et antiquarks au LHC ?

M.-H. S. : Les violations de CP sont aussi rares que difficiles à capturer. Nos manipulations génèrent des quantités d'événements. Je travaille dans le cadre de l'expérience LHCb⁵ au collisionneur du Cern. On y envoie 2 500 paquets de 100 milliards de protons chacun tourner dans un sens et la même chose dans l'autre. Cela aboutit à 40 millions de collisions de protons par seconde, et crée des hadrons contenant les quarks b et/ou c. On utilise un énorme

1. Directrice de recherche au laboratoire de l'accélérateur linéaire (CNRS/Univ. Paris-Sud). 2. Pour *Large Hadron Collider*, « grand collisionneur de hadrons ». 3. Organisation européenne pour la recherche nucléaire. 4. Le prix Nobel de physique a été décerné aux Américains J. W. Cronin et V. Lidsky en 1980 pour cette découverte et en 2008, aux Japonais M. Kobayashi, T. Maskawa et Y. Nambu pour leurs travaux théoriques sur la source de violation de CP dans le modèle standard. 5. b pour bottom/beauty.



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

détecteur, qui couvre une dizaine de mètres, pour mesurer le passage des particules avec une précision de l'ordre du micron. La quantité de données est telle qu'il faut les trier afin de ne garder que les événements potentiellement intéressants, en seulement quatre microsecondes. Ces défis technologiques ne peuvent être menés qu'au sein d'une grande expérience internationale, regroupant près d'un millier de chercheurs.

Peut-on observer de l'antimatière en dehors de ces immenses accélérateurs ?

M.-H. S. : Oui, on peut par exemple citer le spectromètre magnétique Alpha (AMS), installé à bord de la Station spatiale internationale. Cet équipement est d'ailleurs assez proche des détecteurs que nous utilisons dans nos

▶ Trajectoires d'électrons (courbes tournant à droite) et de positrons (courbes tournant à gauche) dans une chambre à bulle soumise à un intense champ magnétique.

expériences de physique des particules : il mesure la courbure des particules chargées qui le traversent afin de déterminer leur charge électrique et leur impulsion. Il est aussi capable de déterminer des informations sur la masse des particules. Ainsi, si la masse mesurée est compatible avec celle d'un électron et que la charge est positive, on est en présence de l'antiparticule de l'électron : le positron. On observe aussi de l'antimatière avec la tomographie par émission de positrons, ou PET-scan. On injecte au patient du glucose comportant une petite quantité de noyaux radioactifs qui émettent des positrons. Ces derniers vont s'annihiler avec les électrons présents dans le corps du patient, ce qui émet des photons à l'énergie caractéristique. Des détecteurs les repèrent et indiquent donc où s'est fixé le glucose. ||



Des pommes, des poires et de l'antigravité ?

Par Paul Indelicato, physicien, directeur de recherche CNRS au Laboratoire Kastler Brossel¹. Il a reçu la médaille de bronze du CNRS.

Lire l'intégralité
du billet sur
lejournal.cnrs.fr

Depuis Galilée, on a compris que dans le vide, les kilos de plumes tombent toujours à la même vitesse que les kilos de plomb. Cela signifie que la masse gravitationnelle d'un objet (celle qui le fait tomber) et sa masse inertielle (celle qui le fait résister à sa mise en mouvement) sont identiques : c'est ce qu'on appelle le principe d'équivalence faible. En s'appuyant sur ce principe, Newton puis Einstein, avec la théorie de la relativité générale, sont parvenus à décrire et à expliquer la gravitation. La relativité générale est une théorie éprouvée en physique et en cosmologie. Il subsiste cependant quelques difficultés comme la nécessité d'invoquer la masse d'une mystérieuse matière noire pour expliquer le mode de rotation des Galaxies, ou d'une toute aussi mystérieuse énergie sombre pour expliquer le comportement de l'Univers primitif. En outre, la gravitation demeure la seule interaction fondamentale que

l'on ne sait pas décrire avec le formalisme de la physique quantique. Enfin, nul n'a jamais observé le comportement gravitationnel de l'antimatière et aucune des théories ne peut expliquer la quasi-absence d'antimatière dans l'Univers. Qu'en est-il de l'effet de la gravitation sur l'antimatière ? Certaines théories des années 1980 prévoient une forme d'antigravité qui se manifesterait par une répulsion entre masses de matière et d'antimatière ! Un tel phénomène serait une violation forte du principe d'équivalence. Bref, toute démonstration expérimentale d'un tel effet bouleverserait notre compréhension de la physique fondamentale.

Réduire l'agitation thermique

GBAR², l'expérience sur laquelle je travaille, tente de résoudre cette énigme de la physique. Le défi est de taille car l'antiproton, créé à une température 2 millions de fois supérieure à celle au centre du

Soleil, doit être ramené à 10 microkelvins afin de réduire au maximum son agitation thermique. Ce projet repose sur une idée de Theodor Wolfgang Hänsch, Prix Nobel 2005 : produire un ion d'antihydrogène+ composé d'un antiproton et de deux antiélectrons. Cela requiert notamment de construire la source la plus intense d'antiélectrons au monde. Reste qu'un tel ion est stable et que grâce à sa charge positive, il est plus facilement manipulable qu'un antihydrogène neutre.

L'idée est de le piéger avec des ions Be+ que l'on sait refroidir par laser plus efficacement que l'antihydrogène. Ceux-ci vont refroidir l'ion d'antimatière par « refroidissement sympathique ». Puis on cassera l'antihydrogène froid ainsi créé avec un laser pour le regarder tomber en observant la gerbe de particules que produira son annihilation lors de sa rencontre avec la matière des parois. Même là, la contribution de l'agitation thermique au mouvement des atomes représente 50 % de la variation du temps de chute libre. Si l'antigravité existe, l'antihydrogène va monter et cela sera facile à observer. S'il faut mesurer une différence dans la vitesse de chute, il va falloir rester très frais ! ||

1. Unité CNRS/ENS Paris/Collège de France/Sorbonne Université. 2. Pour *Gravitational Behaviour of Antihydrogen at Rest*.

Zinder renoue avec son passé

SOCIÉTÉS



© S. POURQUÉ/CNRS-DRI

Histoire. Restituer aux Zindérois les images de leurs aïeux, tel était l'un des objectifs d'une récente exposition photographique, qui s'est tenue au Niger, dans la deuxième ville du pays. Entretien avec Camille Lefebvre, historienne à l'initiative du projet.

PAR GRÉGORY FLÉCHET



© P. EROUSSEAU



© MAE - FONDS GOURAUD

▼ Les cavaliers du sultan (1902).

Comment est née l'idée de l'exposition photographique Zinder 1900 ?

Camille Lefebvre : À cette époque, qui coïncide avec l'arrivée des premiers militaires français dans le sud-est du Niger, Zinder est la capitale du puissant sultanat de Damagaram, alors en pleine expansion. Or, ces dernières années, j'ai été amenée à me rendre régulièrement dans cette région pour mes recherches sur les débuts de la colonisation au Niger. Plus précisément, je cherche à comprendre comment moins d'une centaine de militaires français sont parvenus à prendre le contrôle d'une région vaste comme deux fois la France. En janvier 2017, j'ai rencontré

Laminou Issaka Brah, maire d'une des trois communes formant l'agglomération de Zinder, qui avait depuis longtemps un projet d'exposition autour de l'histoire de la ville. Nous avons décidé de la monter ensemble et tout s'est concrétisé en décembre 2018 à la faveur des célébrations des 60 ans de la République du Niger qui devaient se tenir à Zinder. Pour la mise en œuvre, nous avons bénéficié du soutien de l'ambassade de France. La production de l'exposition Zinder 1900 a été réalisée grâce à l'appui du Centre culturel franco-nigérien Jean-Rouch.

D'où proviennent les archives photographiques ?

C.-L. : Les premiers militaires français arrivés à Zinder, notamment Henri Gouraud, Henri Gaden ou Fernand Foureau, ont immortalisé des scènes de la vie quotidienne avec leur appareil photographique. La plupart de ces clichés pris à titre privé sont longtemps demeurés dans les archives personnelles de ces militaires. Ce n'est que récemment qu'ils ont été cédés à des

institutions de conservation françaises, comme les Archives nationales d'outre-mer, le Service de santé des armées, le ministère des Affaires étrangères.

Cela a-t-il été compliqué de les retrouver puis de les réunir ?

C.-L. : J'avais déjà pu identifier ces fonds d'archives privées dans le cadre de la préparation de mon prochain livre sur les débuts de l'occupation coloniale en Afrique de l'Ouest. Les Archives nationales d'outre-mer abritaient par exemple un fonds de plus de 1 000 photos ayant appartenu au commandant Henri Gaden, pour lesquelles aucune indication géographique n'était mentionnée. C'est en les passant en revue que j'ai trouvé une centaine de clichés réalisés à Zinder au début du XX^e siècle. Ensuite, il a fallu négocier avec les institutions de conservation pour qu'elles acceptent de nous céder des versions numériques. En tant que chercheuse, j'estimais que nous avions le devoir de restituer au Zindérois ces images de leurs aïeux auxquelles ils n'avaient jamais eu accès.



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



► Vernissage de l'exposition Zinder 1900, au Niger.

Que racontent les photos et les témoignages rassemblés dans le cadre de Zinder 1900 ?

C.-L. : La majorité de ces photographies offrent un portrait de Zinder et du sultanat du Damagaram autour de 1900, mêlant les composantes commerciale, culturelle, politique et architecturale. On y voit ainsi le mur de 8 mètres de haut qui entourait la ville avant qu'il ne soit détruit par les Français, on découvre l'activité des hauts dignitaires de la cour. Par ailleurs, une série de photographies est consacrée aux femmes. À la différence des images de cette époque, elles n'ont pas de caractère sexuel, mais témoignent de la diversité des peuples vivant alors dans la région.

Comment les habitants de la ville ont-ils perçu cette initiative ?

C.-L. : Le sultan du Damagaram, Aboubakar Oumarou Sanda, a accueilli l'exposition dans la cour de son palais et, pour la première fois, l'a ouvert à tous. Fin janvier 2019, soit deux mois à peine après le début

de l'exposition, près de 25 000 personnes l'avaient déjà visitée. Toutes les générations et toutes les classes sociales sont venues participer à cet événement dans une grande émotion. Les enfants se sont passionnés pour les légendes, recopiant ces descriptions de l'époque, dont certaines étaient écrites en haoussa, langue la plus utilisée dans la région.

Quel a été l'impact de la colonisation sur cette région ?

C.-L. : À cette époque, les deux premiers Français qui atteignent Zinder y sont assassinés. Lorsque les troupes coloniales arrivent à leur tour dans la ville, elles ont la volonté de l'humilier. En représailles, le grand-oncle de l'actuel sultan de Zinder a été décapité par les troupes françaises et une répression violente a eu lieu. Ce sentiment d'humiliation reste ancré dans les mémoires. En 2015 une partie de la population mit le feu au Centre culturel franco-nigérien en marge d'une manifestation contre le journal *Charlie Hebdo*. Or une initiative comme Zinder 1900 est l'occasion d'imaginer de nouvelles modalités relationnelles entre la France et le Niger. Selon moi, c'est en évoquant ouvertement les violences passées que l'on parviendra à apaiser les relations entre nos deux pays.

Peut-on imaginer qu'un travail similaire soit réalisé dans d'autres régions d'Afrique de l'Ouest ?

C.-L. : Avec la numérisation de centaines de milliers de photographies sur plaques de verre en cours au sein des institutions de conservation françaises, un fonds documentaire inédit couvrant une large partie de l'Afrique francophone sera bientôt disponible. Une fois ce travail achevé, il faudra réfléchir avec les nations concernées au meilleur moyen de valoriser ce patrimoine. Pourquoi pas en s'inspirant de Zinder 1900 ? ▮

1. Camille Lefebvre est chercheuse à l'Institut des mondes africains (CNRS/Univ. Panthéon-Sorbonne/EHESS/IRD/Aix-Marseille Université).

En bref

DANS LE TOP 10 DES DÉPOSANTS DE BREVETS

Cette année encore, le CNRS se classe dans le top 10 des déposants de brevets en France. En sixième position du palmarès INPI 2018, l'organisme confirme ainsi sa place d'acteur majeur de l'innovation. Grâce à leurs publications et leurs innovations, les chercheurs offrent aussi au CNRS la deuxième place du classement mondial Scimago des établissements universitaires et institutions de recherche.

L'HOMMAGE DU COLLÈGE DE FRANCE AU CNRS

Aux côtés de jeunes chercheurs, des scientifiques de renommée mondiale, dont Alain Connes, Philippe Descola, Nicole Le Douarin, Serge Haroche, Edith Heard et Jules Hoffmann, ont rendu hommage au CNRS lors d'un colloque exceptionnel au Collège de France le 6 avril dernier. L'occasion de saluer les 80 ans de recherche de l'organisme qui a structuré la recherche française depuis 1939. « *Sans le CNRS, il n'y aurait aujourd'hui probablement plus de recherche fondamentale correspondant au niveau économique de la France, et d'ailleurs, celui-ci ne serait pas le même* », a insisté Alain Prochiantz, administrateur du Collège de France. Avec ce colloque, le Collège de France a adressé un signal fort à la puissance publique pour que la recherche et l'innovation reviennent au premier plan des préoccupations.



À voir : vimeo.com/329129113/9512df3398

LE CNRS IMPLIQUÉ DANS LES 3IA

Le CNRS est partenaire des quatre projets labellisés Instituts interdisciplinaires d'intelligence artificielle, rendus publics le 24 avril par Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et Cédric O, secrétaire d'État chargé du numérique. Les quatre projets labellisés, pour une période initiale de quatre ans, sont ANITI hébergé à l'Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, MIAI @ Grenoble Alpes hébergé à l'Université Grenoble Alpes, PRAIRIE (Paris), hébergé à Inria et 3IA Côte d'Azur hébergé à l'Université Côte d'Azur. Les financements que les 3IA mobiliseront seront à minima de 225 millions d'euros.

Une nouvelle stratégie internationale pour le CNRS

International. Acteur majeur d'une recherche mondialisée, l'organisme renforce cette année sa stratégie internationale. C'est aussi l'occasion de revisiter l'éventail de ses outils déployés à travers le monde.

PAR LAURENCE STENVOT

Présent dans les projets les plus ambitieux comme dans les palmarès les plus prestigieux, le CNRS s'est taillé depuis longtemps une place à part dans la science mondiale. Et ce, notamment, grâce à une politique d'ouverture qui lui a permis de développer avec succès des collaborations sur tous les continents. Mais en matière de recherche comme ailleurs, le paysage évolue à vitesse grand V. « Ces dernières années, les centres de gravité se sont déplacés, de nouvelles zones d'excellence ont émergé sur des thématiques de recherche précises et d'immenses défis planétaires – allant du changement climatique à l'intelligence artificielle – ont rendu les collaborations entre centres d'excellence plus indispensables que jamais, explique Alain Schuhl, directeur général délégué à la science du CNRS. Le CNRS a donc décidé d'adapter sa stratégie internationale et de mettre ses outils de partenariat en adéquation avec cette nouvelle donne. » Une mise à jour pensée autour de trois grands objectifs piliers : gagner en agilité, cultiver la pluridisciplinarité et renforcer l'attractivité de l'organisme.

Une science mondialisée

« Notre ambition aujourd'hui est de construire des partenariats solides et visibles, avec en particulier une trentaine d'établissements de recherche parmi les plus prestigieux au monde ! », poursuit Alain Schuhl. Et de préciser que le « comité de direction du CNRS définit et pilote la stratégie internationale de l'organisme et doit s'appuyer plus encore sur les relais que constituent les bureaux du CNRS à l'étranger. » Justement, cette réforme repose sur de solides fondations. Fort de ses huit bureaux qui déploient sa stratégie dans toutes les régions du monde, le CNRS compte en effet plus de 80 laboratoires hors des frontières françaises qui lui assurent un rayonnement international unique. L'organisme peut compter aussi sur les scientifiques qui cosignent près des deux tiers de leurs publications avec des partenaires étrangers répartis tout autour de la planète.

Le CNRS répond aussi présent au sein des grandes initiatives mondiales. Avec notamment un investissement important dans les organisations internationales comme le Cern ou l'EMBL (European Molecular Biology Laboratory) et dans les Très grandes infrastructures de recherche (TGIR), comme l'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) ou l'Iram (Institut de radioastronomie millimétrique) qui fournissent aux chercheurs de toutes les disciplines un accès aux équipements les plus performants. Par ailleurs, il prend une part active aux réseaux multilatéraux qui abordent les questionnements scientifiques globaux, tel le Belmont Forum pour le réchauffement climatique.

Autre indicateur qui ne trompe pas, la forte mobilité des chercheurs : « En 2016, le CNRS a financé 60 000 missions de ses scientifiques à l'étranger pour un budget de 50 millions d'euros », mentionne le directeur général délégué à la science. En tout, en 2018, ce sont 250 millions d'euros du budget du CNRS qui ont été alloués aux actions internationales.

Des outils agiles et réactifs

Afin de renforcer et multiplier ses partenariats, le CNRS a revisité ses outils de coopération internationale. « Dorénavant Umi¹, Umifre² et certains des plus importants LIA³ sont regroupés sous le vocable unique d'International Research Laboratories, explique Patrick Nedellec, directeur de la direction Europe de la recherche et coopération internationale (Derci). Cela permet au CNRS d'afficher une carte d'implantation claire de 80 International Research Laboratories dans le monde en lieu et place de ces trois outils différents. Il s'agit d'une véritable simplification pour nos partenaires... mais c'est loin d'être le seul changement. »

Derrière cette nouvelle nomenclature se cache aussi une importante simplification administrative, synonyme de gain de temps et de réactivité : désormais, certains types d'actions pourront être formalisés à travers un échange de lettres de soutien entre le CNRS et ses



Visualisation par microscopie électronique effectuée au Limms. À l'image de cette unité du CNRS et de l'université de Tokyo, les unités mixtes internationales deviennent des International Research Laboratories.

1. Pour Unité mixte internationale. 2. Pour Unité mixte des instituts français de recherche à l'étranger. 3. Pour Laboratoire international associé.

partenaires. « Dans 80 % des cas, nous passerons ainsi à un délai inférieur à deux mois pour commencer une collaboration scientifique ! » Cette simplification concerne les outils de collaboration revisités : « Les anciens Projets internationaux de coopération scientifique et Projets de recherche conjoints cèdent la place à un dispositif unique appelé *International Emerging Actions*, les anciens Groupements de recherche internationaux sont rebaptisés *International Research Networks*, et enfin, les anciens LIA évoluent en *International Research Projects* », détaille le directeur de la Derci.



conjointes de bourses de thèse, et d'être le creuset de nouvelles collaborations incluant bien sûr des financements concertés. Dans cette optique, le CNRS a renforcé cette année des échanges avec l'Institut Weizmann (Israël), l'Australian National University (ANU), l'Indian Institute of Science Education and Research (IISER), la Nanyang Technological University (Singapour) et l'Université de Chicago. « Pour chaque partenariat, environ cinq projets communs seront financés pour les trois années à venir, avec de chaque côté le financement d'une bourse doctorale et un financement de mobilité pour les étudiants afin de faire le lien entre les deux équipes. C'est en tout 25 bourses de thèse qui seront consacrées à ces partenariats stratégiques ! », développe Alain Schuhl.

L'Afrique fera sans aucun doute l'objet d'une attention toute particulière. L'organisme français souhaite en effet renforcer ses collaborations, notamment en Afrique de l'Ouest dont la recherche monte en puissance comme l'illustre la création du centre d'excellence Agir, financé par la Banque mondiale à hauteur de 6 millions d'euros et qui s'appuie sur l'unité mixte internationale ESS du CNRS au Sénégal, au Burkina Faso et au Mali.

L'attractivité française

En plus d'une large implantation hors du territoire français et d'une forte coopération au sein des initiatives internationales, le CNRS offre un visage de plus en plus mondialisé. En effet, 10 % des directeurs de laboratoire proviennent de recrutements internationaux, c'est également le cas pour 34 % des doctorants, 60 % des post-doctorants et 15 % des chercheurs. Des chiffres et une attractivité en constante augmentation : en 2018, 35 % des chercheurs recrutés étaient internationaux !

Pour entretenir cette dynamique, l'organisme veut aussi développer des *International Research Laboratories* en France. Il s'apprête à identifier au sein de ses laboratoires les « hotspots » de l'international, soit les unités les plus largement tournées vers l'international telles que le Grand accélérateur national d'ions lourds, centre de recherche en physique nucléaire à Caen, qui accueille à 90 % des chercheurs étrangers. But de l'opération : accompagner ces pépites dans leur développement international. Une corde de plus à l'arc du CNRS pour faire rayonner hors de l'Hexagone la recherche menée dans ses laboratoires. **II**

Autre grand objectif : intégrer la pluridisciplinarité dans l'ADN de chaque collaboration en cours d'élaboration. Pour cela, un comité opérationnel impliquant tous les instituts du CNRS est mis sur pied et interviendra dès la genèse des projets.

Des partenariats stratégiques

L'état des lieux des coopérations existantes et l'ampleur des copublications font naturellement ressortir un certain nombre d'établissements étrangers, le plus souvent des universités, avec lesquels le CNRS a des collaborations multiples sur le long terme. L'organisme souhaite proposer à ses partenaires privilégiés la création d'*International Research Centers* communs. De tels centres auront pour objectif de regrouper l'ensemble des coopérations existantes, comme les financements



Découvrez le nouvel espace web international du CNRS sur :

>> <http://www.cnrs.fr/international>

Les ondes mises sous contrôle

MATIÈRE

Physique. La surface intelligente, créée par la start-up GreenerWave, permet d'orienter les micro-ondes à volonté. Une innovation à bas coût qui promet d'améliorer l'utilisation des ondes électromagnétiques dans notre quotidien, de la 5G aux puces RFID en passant par la voiture autonome.

PAR ANAÏS CULOT

Au cœur d'un open space surchargé, à la médiathèque ou dans un café, vous vous installez prêt à travailler, ordinateur sur les genoux et café à portée de main. Sauf que vous semblez être la seule personne à ne pas capter le wi-fi. Vous vérifiez votre matériel. Rien à signaler de ce côté-là. Alors que se passe-t-il ? Vous êtes peut-être assis au milieu d'un nœud de champ électromagnétique, zone où la réception est nulle. Un phénomène dû aux ondes qui, piégées entre les murs,

▶ Cette surface (24 x 30 cm) permet d'orienter les ondes électromagnétiques, comme celles du wi-fi, pour améliorer la couverture réseau.

rebondissent sur les surfaces de la pièce (meubles, objets, etc.).

Pour pallier ce problème, la start-up GreenerWave¹ développe des surfaces à bas coût aux propriétés modulables qui fonctionnent comme des miroirs orientant une onde dans une direction choisie : « Nous avons inventé des matériaux intelligents capables de contrôler les ondes », ajoute Geoffroy Lerosey, chercheur CNRS et cofondateur de GreenerWave avec Mathias Fink, chercheur à l'Institut Langevin², qui a reçu la médaille de l'innovation du CNRS, en 2011.

Refocaliser les signaux

Les chercheurs se sont inspirés des travaux menés à l'Institut Langevin où sont utilisées des matrices de cristaux liquides ou de micromiroirs mobiles permettant de contrôler de la lumière dans des milieux complexes. Leur orientation peut être maîtrisée en modifiant la configuration des surfaces sur lesquelles elles rebondissent. « Nous avons fabriqué des surfaces permettant de faire la même chose avec des micro-ondes », explique Mathias Fink. Les métasurfaces de GreenerWave se composent de pixels (groupement d'éléments de taille centimétrique) agissant comme un ensemble de micromiroirs. Chaque pixel transmet ou réfléchit l'onde incidente. Les interactions entre les pixels et les micro-ondes sont modifiées individuellement par un mécanisme électronique. La surface est contrôlée par un algorithme qui oriente les ondes une fois qu'elles sont en

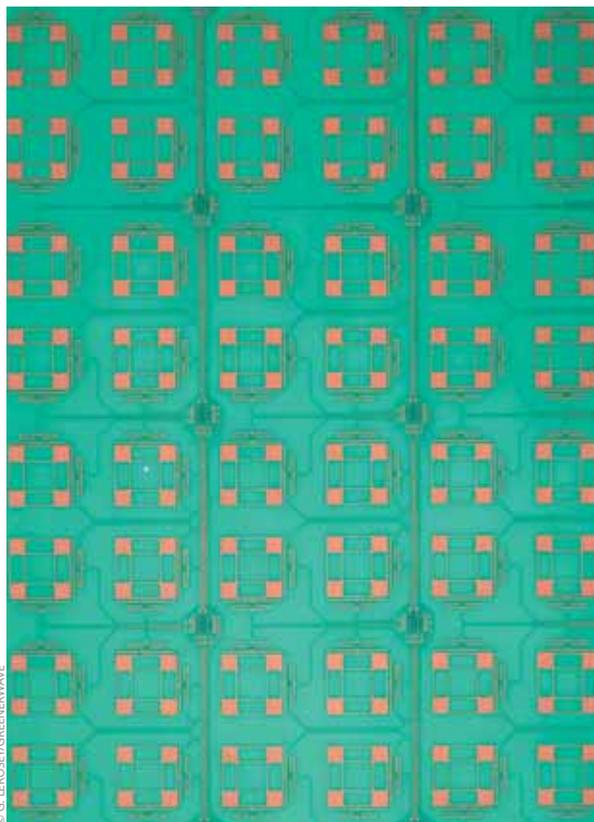
contact avec la surface. Placée sur les murs d'une pièce par exemple, celle-ci permet de refocaliser un signal en temps réel et en un point donné, sans câble, ni antenne.

Côté application, la start-up a l'embarras du choix : l'Internet des objets, la lecture des puces RFID³, la voiture autonome ou la 5G. « On peut utiliser notre technologie pour les radars à bord des voitures autonomes afin d'améliorer la détection des obstacles, par exemple », mentionne Mathias Fink. En collaboration avec l'Institut Langevin, GreenerWave travaille également au développement d'antennes pour communiquer avec les satellites distribuant une connexion très haut débit partout dans le monde. « Pour recevoir un signal satellite, il faut pointer précisément sur lui. On souhaite utiliser notre technologie pour concevoir des antennes hyperdirectives dans n'importe quelle direction », présente Geoffroy Lerosey.

En attendant, GreenerWave cherche à rendre sa technologie énergétiquement autonome en captant l'énergie des ondes électromagnétiques par exemple. **II**



Lire l'intégralité de l'article sur notre blog « De la découverte à l'innovation » sur lejournal.cnrs.fr



© G. LEROSEY/GREENERWAVE

1. La société, fondée en 2015, compte cinq employés, mais espère s'agrandir rapidement. Elle s'appuie sur le binôme opérationnel science-business constitué de Geoffroy Lerosey, détaché à plein temps du CNRS et chargé de la R&D, et Timothée Laurent à la direction. 2. Unité CNRS/ESPCI Paris/Univ. Paris-Diderot/Sorbonne Université. 3. Pour *Radio Frequency Identification*, « radio-identification » : méthode pour récupérer et mémoriser des données à distances.

LES IDÉES



*Le CNRS raconte son histoire,
la science côtoie le spectacle vivant
en Avignon et les robots s'exposent
à la Villette.*

ILLUSTRATION : MAX LÖFFLER POUR CNRS LE JOURNAL



Le CNRS,
80 ans d'histoire
2/4

1958-1979 L'envol de la recherche

Tout au long de l'année, l'historien Denis Guthleben nous fait remonter le temps à travers l'histoire du CNRS. Ce deuxième épisode relate la mise en place d'une recherche française forte, impulsée par le général de Gaulle.



Cet article a été publié dans la revue **Carnets de science** #6



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

Mai 1958. La France traverse une crise politique grave. Il faut, en préambule, dire un mot de ce contexte : il va peser comme jamais auparavant sur l'organisation de la recherche dans notre pays. Certains parlent de coup d'État, voire de putsch – terme consacré lorsqu'un militaire s'empare du pouvoir dans des circonstances, disons, exceptionnelles... D'autres évoquent un retour aux affaires, comme si la quinzaine d'années depuis la Libération n'avait été qu'une parenthèse. Question de sensibilités ! Toujours est-il qu'en toile de fond de la tragédie algérienne dans laquelle la Quatrième République s'est enlisée, le général de Gaulle reprend en main le destin du pays et obtient un véritable plébiscite pour en établir une Cinquième. Ah ! Les Français et l'homme providentiel...

► Au Laboratoire des hautes pressions dirigé par Boris Vodar, à Meudon-Bellevue, le 26 février 1959.

Le nouveau régime tout juste installé, et le président de la République solidement campé à sa tête – « *Une importante majorité du peuple français a voulu se donner un roi. Elle l'a* », constate Françoise Giroud dans *L'Express*... –, la recherche scientifique apparaît d'emblée comme une priorité nationale. Les raisons sont multiples. Avant tout, une science forte participe de la grandeur et de l'indépendance du pays. Dans ce domaine, le général de Gaulle partage l'opinion de Frédéric Joliot-Curie, qui vient de disparaître : un pays qui n'investit pas dans la recherche est condamné à devenir « *une colonie de l'étranger* » ! Il y a aussi le programme nucléaire militaire : le chef de l'État est impatient de le voir aboutir, en poussant un « *hourra pour la France* » au cœur du Sahara.

Une priorité nationale

Un ministre d'État, un comité interministériel présidé par le Premier ministre, une délégation générale chargée d'encourager les champs émergents comme celui de la biologie moléculaire... les institutions qui se mettent en place confirment cette ambition. Certes, le régime gaullien n'a pas tout inventé : il s'inspire de réflexions menées au milieu des années 1950 autour de Pierre Mendès France, mais que l'éphémère président du Conseil n'a pas eu le temps de mettre en œuvre. Un comité consultatif à la recherche, composé de scientifiques de renom que l'on baptise vite « les douze sages », est inauguré dès novembre 1958. L'un de ses membres, le médecin Jean Bernard, a laissé un témoignage : « *Une ou deux fois par an, le général de Gaulle reçoit les douze à l'Élysée. À chacun de nous, il demande de commenter les progrès survenus depuis notre dernière rencontre. Je n'ai jamais tant eu l'impression de passer une nouvelle fois mon baccalauréat...* ¹ » Et de Gaulle lui-même, lors d'un discours prononcé à Toulouse le 14 février 1959, donne le ton : « *L'État a le devoir d'entretenir dans la nation un climat favorable à la recherche et à l'enseignement ; l'État, qui, dans le flot des besoins et le flot des dépenses, a la fonction de doter les laboratoires et de pourvoir l'enseignement* ². »

Pour le CNRS, cette fonction est remplie sans pinailler : le conseil d'administration de l'établissement, qui avait enregistré une dotation publique de 8 milliards de francs en 1958, constate qu'elle a bondi à plus de 15 milliards en 1960 – les administrateurs du CNRS, comme bien des Français, s'expriment encore en « anciens francs », alors que les « nouveaux » viennent d'entrer en circulation. Un budget qui a presque doublé en deux ans ! Certes, il faut prendre en compte l'inflation. Mais, en valeur constante, l'augmentation reste tout de même de l'ordre de 75 % puis la progression atteint 15 %

► En mars 1965, le général de Gaulle, président de la République, accompagné de Pierre Jacquinet, directeur général du CNRS (à droite), visite les laboratoires de Meudon-Bellevue.



1. Cité par Alain Chatriot et Vincent Duclert (dir.), in *Le Gouvernement de la recherche. Histoire d'un engagement politique*, de Pierre Mendès France à Charles de Gaulle (1953-1969), La Découverte, 2006. 2. Pour une transcription complète du discours, lire *La Revue pour l'histoire du CNRS*, n° 1, 1999 (<https://journals.openedition.org/histoire-cnrs/484>). 3. Cet institut est vite accaparé par le ministère de l'Industrie, pour devenir l'Anvar. Lire « CNRS-industrie : un mariage de raison », in *Entreprises de haute technologie, État et souveraineté depuis 1945*, Denis Guthleben, ministère de l'Économie et des Finances, 2013.

chaque année jusqu'à la fin de la décennie. Au CNRS, on ne s'y trompe pas : un administrateur parle de « *l'évolution frappante des crédits* », un autre « *d'aisance financière* », tandis que l'un des patrons de la biologie est pris de vertige : « *Mais que vais-je faire de tout cet argent ?* »

CNRS-Université : la création des labos

Vaine inquiétude : les scientifiques savent toujours quoi faire avec l'argent ! Au CNRS, ils érigent des laboratoires, les équipent et recrutent des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens pour les faire fonctionner – un peu moins de 6 000 personnes travaillent au sein de l'organisme en 1958, un peu plus de 16 000 dix ans plus tard. Dans le même temps, des instituts nationaux sont mis en chantier : celui d'astronomie et de géophysique (Inag, ancêtre de l'Insu, l'Institut national des sciences de l'Univers) voit le jour en septembre 1967 et celui de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) aboutit cinq ans plus tard. Moins connu, l'Institut national pour la valorisation de la recherche (Invar)³ les a même précédés, dès janvier 1967. Initiative pionnière, conçue autour du directeur du CNRS Pierre Jacquinet par des scientifiques et pour les scientifiques, elle offre un pied de nez à ce préjugé, hélas persistant, sur une prétendue incapacité historique de la recherche publique à se préoccuper de la valorisation de ses travaux !

La réforme majeure demeure celle qui conduit à la création des laboratoires associés, le 1^{er} janvier 1966. Elle constitue ...



... la première réponse ambitieuse à la question des relations entre les deux grands artisans de la science française, le CNRS et l'Université, ainsi que des liens avec d'autres établissements – anciens, comme l'Institut Pasteur, ou plus récents, à l'instar de l'Inserm qui a vu le jour deux ans plus tôt, ou de l'Iria (futur Inria) qui est dans les tuyaux. Elle est à l'origine d'un mouvement qui ne s'est pas démenti : cette association, qui concernait quarante laboratoires le 1^{er} janvier 1966, en commençant par l'Institut de recherche mathématique avancée de Strasbourg, s'étend désormais à plus d'un millier d'unités mixtes de recherche...

Dans ce contexte, la recherche française, qui avait paru marquer le pas depuis la Libération, semble reprendre de la vigueur. Certains signes ne trompent pas : dans ce pays qui n'avait plus remporté de prix Nobel scientifique depuis celui d'Irène et de Frédéric Joliot-Curie en 1935, François Jacob, André Lwoff et Jacques Monod sont récompensés en 1965, Alfred Kastler en 1966 et Louis Néel en 1970.

Certes, les travaux qui leur ont valu cette distinction sont parfois antérieurs aux années 1960, début de la décennie précédente pour le pompage optique de Kastler, bien plus tôt encore pour la découverte de l'antiferromagnétisme et du ferrimagnétisme par Néel. Mais tout le monde se rejoint sur un constat : la France vient de renouer avec sa longue tradition scientifique !

Attentes et défis des années 1970

Les années 1970 s'inscrivent dans le prolongement de la décennie gaullienne, en héritant des transformations que mai 1968 a apportées dans le monde de la recherche⁴. Certes, l'évolution des budgets du CNRS enregistre un coup d'arrêt après le départ du général de Gaulle en 1969 : son successeur, Georges Pompidou, se révèle moins enthousiaste vis-à-vis de la recherche, et un poil rancunier face à la « chienlit » qui s'est emparée des laboratoires au cours des « événements ». De plus, l'établissement subit, à l'instar de tout le pays, le contrecoup du choc pétrolier de 1973 qui l'atteint au portefeuille : on est frappé, à la lecture des archives de l'époque, du nombre de plaintes lancées par des responsables d'unité devant leurs factures énergétiques.

► En 1965, le prix Nobel de médecine est décerné à François Jacob, Jacques Monod et André Lwoff de l'Institut Pasteur, à Paris.



▼ Maquette qui a servi à la construction du four solaire d'Odeillo, dans les Pyrénées-Orientales (en haut).

L'établissement reste cependant en mesure d'insuffler une puissante dynamique dans plusieurs directions. L'année 1975 est, à ce titre, révélatrice. Elle voit simultanément l'inauguration des « programmes interdisciplinaires de recherche », dont le premier, et ce n'est évidemment pas une coïncidence, est consacré au « développement de l'énergie solaire⁵ », la prise en compte de la spécificité du domaine des « sciences pour l'ingénieur », avec la création d'un secteur scientifique ad hoc et promis à un bel avenir au sein de l'établissement⁶, et une ouverture croissante vers l'industrie nationale, marquée entre autres par la signature d'accords-cadres avec de grandes entreprises – Rhône-Poulenc est la première d'une longue liste.

Un autre programme interdisciplinaire ne tarde pas à être initié, en 1979 : le « Piren », cette fois-ci autour de la recherche sur l'environnement, une préoccupation qui, comme chacun sait, ne cessera de croître au fil du temps. Toujours plus à l'écoute des attentes de la société, le CNRS parvient ainsi à se frotter de manière pionnière aux grands défis globaux – bien que ces attentes et ces enjeux soient souvent antagonistes, hélas... Mais là aussi, la recherche va avoir son mot à dire : l'histoire du CNRS n'en est à ce moment-là qu'au milieu de son parcours. II

✦ À suivre

Le 3^e épisode de l'histoire du CNRS est à retrouver dans le prochain numéro du journal.



Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes

Retrouvez le programme complet des manifestations pour les 80 ans du CNRS sur 80ans.cnrs.fr

4. Lire « Sous les pavés, la science » : <https://lejournal.cnrs.fr/billets/sous-les-paves-la-science>. 5 « Coup de soleil au CNRS. La genèse du Pirdes », Denis Guthleben, *La Revue pour l'histoire du CNRS*, n° 17 (été 2007) (<https://journals.openedition.org/histoire-cnrs/2221>). 6 *Les Sciences pour l'ingénieur. Histoire du rendez-vous des sciences et de la société*, Girolamo Ramunni, CNRS Éditions, 1998.

Robots, ces machines incomprises



O. P. IMBERT/COLLEGE DE FRANCE

Robotique. De quoi un robot est-il capable ? Saura-t-il prendre des décisions en toute autonomie ? Éléments de réponse avec Jean-Paul Laumond, l'un des deux commissaires de Robots, exposition permanente à la Cité des sciences et de l'industrie, à la Villette.

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Avec l'anthropologue Denis Vidal¹, vous êtes commissaire scientifique de l'exposition Robots dont le CNRS est partenaire. Mais qu'entend-on exactement par « robot » ?

Jean-Paul Laumond² : Pour Aristote, une machine est un objet technique qui produit du mouvement. La définition n'a pas beaucoup évolué depuis : un robot est une machine capable de se déplacer automatiquement dans son environnement. Il se distingue de l'automate qui n'effectue que des mouvements mécaniques et de l'ordinateur qui manipule des informations mais ne bouge pas. La machine exécute un programme, elle peut faire des choix, mais elle n'a pas de libre arbitre : elle ne décide pas au sens où nous l'entendons. Un robot autonome est une machine automatique qui agit dans un milieu fermé, pour un besoin précis, avec des limites de tâches et d'actions déterminées. C'est le mariage réussi de l'automate et de l'ordinateur.

Qu'est-ce qui distingue la machine de l'intelligence artificielle (IA) ?

J.-P. L. : L'IA recouvre le traitement numérique de données massives. L'efficacité des algorithmes permet de rechercher rapidement des informations sur Google, d'aider le médecin à établir un diagnostic médical, de reconnaître un visage particulier parmi les milliers de photos stockées dans votre téléphone, etc. Ce qui la distingue de la robotique, c'est la gravité. La machine a un rapport

physique avec le monde réel, elle est soumise à la pesanteur. Si l'algorithme qui fait avancer un robot est défaillant, il chute. La fiabilité des algorithmes et des modèles mathématiques est donc primordiale.

Ne surestimons-nous pas les performances des robots ?

J.-P. L. : En effet, ils sont limités par le nombre de tâches que l'on peut leur commander, leur apprendre... Le robot-aspirateur, pour autonome qu'il soit, ne peut pas descendre les marches d'un escalier. On peut prendre un autre exemple, celui de la catastrophe de Fukushima, survenue en 2011. Si aucun robot n'est efficacement intervenu dans la centrale nucléaire japonaise, c'est parce que les robots d'intervention sont encore loin d'être opérationnels. En robotique, le laps de temps entre le développement des travaux de recherche et leur exploitation est conséquent.

Quels sont les défis pour la recherche en robotique ?

J.-P. L. : Seuls certains prototypes de robots sont capables d'effectuer de simples tâches, comme saisir divers



Robots, exposition permanente de la Cité des sciences et de l'industrie à Paris. Ouvert du mardi au samedi de 10 heures à 18 heures.



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

objets sans les casser. Un mouvement est une fonction continue du temps dans l'espace. Comment un ordinateur peut-il résoudre ce problème de continuité, avec toutes les contraintes qu'impose la physique, lui qui est condamné au calcul ? Voilà le défi majeur. Aujourd'hui, les machines se distinguent par leur efficacité dans des gestes très spécialisés, répétitifs, parfois dangereux. Je crois que le robot n'est pas près de remplacer la main de l'artisan, car maîtriser un geste technique nécessite près de 10 000 heures d'apprentissage.

Pourquoi vous êtes-vous lancé dans cette aventure de médiation ?

J.-P. L. : Avec Denis Vidal, nous avons tenté d'associer nos deux visions : la sienne, porteuse des imaginaires collectifs autour des machines et replaçant cette discipline dans l'histoire des techniques ; la mienne, explorant les capacités, les limites et les enjeux de la robotique. La présence de ces machines au quotidien est un vrai changement. Cette exposition a pour objectif de mieux armer nos contemporains face aux transformations de la société induites par ces nouvelles technologies. ||



Robots, Jean-Paul Laumond et Denis Vidal, Éditions de la Cité des sciences et de l'industrie, 2019, 48 pages.

Poincaré et la robotique : les géométries de l'imaginaire, Jean-Paul Laumond, Éditions Le Bord de l'eau, 2018, 120 pages.

La robotique : une récidive d'Héphaïstos, Jean-Paul Laumond, Fayard, 2012, 80 pages.

1. Denis Vidal est directeur de recherche IRD à l'unité de recherche Migration et société (CNRS/IRD/Université de Nice Sophia-Antipolis/Université de Paris-Diderot). 2. Jean-Paul Laumond, roboticien, est directeur de recherche CNRS au département d'Informatique de l'ENS (CNRS/PSL/Inria), membre de l'Académie des technologies et de l'Académie des sciences.

Chercheurs et artistes : la curiosité en partage

PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

Organisées par l'ANR et le Festival d'Avignon, la 6^e édition des Rencontres recherche et création se penchera sur le thème des Traversées des mondes les 9 et 10 juillet. Et, pour ses 80 ans, le CNRS s'associe à cette manifestation lors d'un Forum autour du rôle de la culture et de la création dans le développement des sociétés.

C'est presque un rituel. Depuis 2014, comédiens, metteurs en scène, auteurs, chorégraphes, (pré) historiens, sociologues, primatologues, neuroscientifiques... se donnent rendez-vous au Festival d'Avignon, la plus importante manifestation de spectacle vivant au monde. Et 2019 ne déroge pas à la règle. Les 9 et 10 juillet aura lieu la 6^e édition des Rencontres recherche et création organisées par le Festival et l'Agence nationale de la recherche (ANR), et, le 11 juillet, se tiendra un Forum copiloté par le Festival, l'ANR et le CNRS. Ouvertes au public, ces savantes agapes répondent au rêve de Jean Vilar de faire du Festival d'Avignon, qu'il a créé, « une sorte de bouillotte intellectuelle, un moment d'intense échange d'idées, dit Olivier Py, aux commandes de la vénérable institution depuis 2014. La proposition des Rencontres et du Forum, qui se déroulent dans ce lieu à la fois secret et ouvert qu'est le cloître Saint-Louis, est de permettre aux artistes invités du Festival et à des chercheurs en sciences humaines et sociales et en sciences cognitives de faire dialoguer, à partir de spectacles qui donnent à penser, des disciplines éloignées les unes des autres afin qu'elles se nourrissent et se renforcent de leurs différences. »

Jeu de miroirs

S'ils ne façonnent pas « une matière scientifique » dans des laboratoires ou des bibliothèques, les artistes n'en sont pas moins des chercheurs dont la réflexion s'élabore sur les plateaux, renchérit Paul Rondin, directeur délégué du Festival. « Ils présentent leurs "travaux" au public et conçoivent la création comme un questionnement permanent, une démarche de connaissance. » D'où l'intérêt de confronter leurs intuitions et leurs conclusions à celles de chercheurs français et internationaux, quand bien même ces derniers peuvent être « impressionnés par la liberté de création des artistes dont l'activité n'est pas tout entière tendue vers la production de preuves », et les artistes « intimidés par la réputation d'hypersérieux souvent accolée aux grandes intelligences structurées que sont les chercheurs ».

Qu'elles interrogent Le désordre du monde, comme en 2017, ou Le jeu et la règle, comme en 2018, les Rencontres, au même titre que le Forum, explorent « des questions fondamentales qui vont de l'origine du langage humain au lien entre émotion et cognition, au rôle de la

▼ En 2018, Elisabetta Visalberghi, zoologue, spécialiste de la cognition chez les singes capucins, présentait les jeux chez les primates et l'acquisition de l'usage des outils.



fiction comme exercice de pensée et reflet de la transformation des sensibilités, insiste Catherine Courtet, responsable d'actions transversales au département sciences humaines et sociales de l'ANR et initiatrice, avec Paul Rondin, de ces manifestations. Notre souhait est de mettre en résonance la pensée des artistes et les développements scientifiques les plus récents, de favoriser un jeu de miroirs entre ces univers ».

Des exemples démontrant les vertus de telles hybridations ? Dans la pièce *Ceux qui errent ne se trompent pas* de Maëlle Poésy et Kevin Keiss présentée à Avignon en 2016, une majorité de citoyens votent blanc, ce qui perturbe le fonctionnement de la démocratie et déstabilise le pouvoir en place. Pareille intrigue, en ces temps de montée de l'abstention et de rejet des élites, a donné lieu à des débats entre les auteurs et des chercheurs en sciences politiques. Toujours en 2016, la mise en scène de *Richard III*



Le Jeu et La Règle,
Catherine Courtet,
Mireille Besson,
Françoise Lavocat,
Alain Viola (dir.), CNRS
Éditions (coédition
avec le Festival
d'Avignon et l'ANR),
à paraître en juin.

de Shakespeare par l'Allemand Thomas Ostermeier a suscité des échanges passionnés entre artistes et spécialistes de la figure du « monstre » dans la littérature, historiens travaillant sur la virilité comme construction culturelle et experts en psychologie et neurosciences cognitives menant des expériences sur la capacité à interpréter et comprendre les émotions des autres.

Placées comme les précédentes éditions sous le signe de la curiosité partagée, les Rencontres 2019 graviteront autour du thème des Traversées des mondes, l'Odysée

(de celle d'Homère à celle des migrants d'aujourd'hui) constituant le fil d'Ariane de la 73^e édition du Festival d'Avignon. « *L'errance d'Ulysse, les voyages d'Énée, l'ivresse de pouvoir d'Agamemnon sont une source inépuisable d'interrogations, tant pour les artistes que pour les chercheurs, sur les imaginaires et les valeurs qui fondent les sociétés* », présente Catherine Courtet.

De l'importance des intelligences culturelles

Organisé dans le cadre des 80 ans du CNRS, le Forum qui frappera les trois coups le 11 juillet explorera les multiples facettes des intelligences culturelles. À l'heure où l'intelligence artificielle et plus largement les technologies numériques transforment nos sociétés, le Forum se donne pour objectif de « valoriser l'apport des sciences humaines et sociales et des sciences cognitives à la compréhension du rôle de la culture et de la création dans le développement des hommes et des sociétés », explique Marie Gaille, directrice adjointe scientifique de l'Institut des sciences humaines et sociales du CNRS. Dans les trois sessions prévues, il sera entre autres question des liens entre musique et langage, des transformations des façons de se représenter le cours de l'histoire humaine, la place de la culture dans la vie sociale et politique... Les interventions seront courtes (7 minutes) afin de favoriser les discussions entre chercheurs et professionnels du monde du spectacle et de la culture ». Ce qui posera un terrible dilemme : comment assister à l'ensemble des Rencontres et du Forum sans manquer un spectacle ? Cornélien... ||



Traversées des mondes, 6^e édition des Rencontres
recherche et création, les 9 et 10 juillet,
Forum Intelligences culturelles, le 11 juillet.

Renseignements et programme sur
» www.recherche-creation-avignon.fr



© C. BARRAUD DE PAGE

Les archives du CNRS s'exposent à Arles

À l'occasion de ses 80 ans, le CNRS sera aussi présent cet été au Festival international de la photographie Les Rencontres d'Arles avec l'exposition La Saga des inventions. Des milliers de photographies et de films ont été produits en France, entre 1916 et 1939, dans le cadre d'une politique nationale d'encouragement à la recherche scientifique et industrielle. Ces archives argentiques dessinent les contours d'une histoire de l'innovation, d'abord ancrée dans la guerre et la défense nationale, ensuite orientée vers la vie civile et domestique. Elles racontent aussi les débuts de l'institutionnalisation de la recherche. Dès l'origine, une politique systématique de constitution d'archives est mise en place. Photographiées devant

un mur blanc, isolées, centrées dans l'image ou vues d'en haut, les inventions sont aussi souvent reproduites de face et de profil comme dans le portrait judiciaire. Un personnage, parfois l'inventeur pose avec son invention, qu'il s'agisse d'un fusil-mitrailleur ou bien d'un balai en caoutchouc. Des séries chronologiques d'images sont tout aussi démonstratives et déploient le potentiel et le fonctionnement de l'objet, celui d'une tourelle à observer les oiseaux et les avions, comme celui d'une machine à laver.

La Saga des inventions, du masque à gaz à la machine à laver – les archives du CNRS (commissaire Luce Lebart) : du 1^{er} juillet au 22 septembre, Croisière, Arles.



© OFFICE NATIONAL DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES ET DES INVENTIONS. COLLECTION CNRS

▼ Casque acoustique de Georges Mabboux (1936).

Pour plus d'informations :
» www.rencontres-arles.com/fr/expositions/view/780/la-saga-des-inventions



© DR. G. ROLLÉ/REA

Baisse de TVA : une fausse bonne idée ?

Par **Claire Lapique**, rédactrice,
et **Alain Trannoy**,
chercheur à l'Amse¹

Baisser la TVA... L'idée revient régulièrement dans le débat public pour réduire les inégalités « du Caddie », de transport, de logement... Mais quel est l'impact d'une telle mesure ? Une des propositions phare du grand débat a justement été d'abaisser le taux de TVA sur les produits de première nécessité de 5,5 % à 0 %. Ceux-ci rassemblent le plus souvent les produits alimentaires et d'hygiène. Mais avant d'atteindre les consommateurs, la baisse de la TVA peut être captée. Son impact sur le niveau de vie est donc très incertain, comme l'illustre l'exemple de la baisse de la TVA dans le secteur de la restauration passée de 19,6 % en 2008 à 5,5 % en 2009, à la demande des patrons qui ont lutté pour l'obtenir². En échange, ceux-ci s'engageaient à répartir les gains en trois parts égales : un tiers pour les consommateurs (en baissant les prix), un tiers pour l'emploi et un dernier tiers pour l'investissement³.

Consommateurs et salariés : les perdants

L'effet escompté n'a pas été au rendez-vous. Tout d'abord, l'État a perdu 2,6 milliards d'euros par an de recettes fiscales⁴ et pour les consommateurs et les salariés de la restauration, l'assiette s'est plutôt révélée salée. C'est ce qu'ont démontré les économistes Youssef Benzarti et Dorian Carloni qui ont étudié la répartition des gains obtenus sur un horizon de dix-huit mois. Alors que les restaurateurs s'octroient 46 % du bénéfice total de la réforme, les consommateurs n'en obtiennent que 24 %. Et du côté des salariés, les résultats parlent d'eux-mêmes : ils obtiennent seulement 18 % des gains



© J. WENNINGTON/UNSPASH

sous forme d'augmentation de salaire ou d'embauche.

Face à ce constat, faut-il revenir au taux initial ? Pour Alain Trannoy, ce serait une reculade préjudiciable. Alors que la baisse de la TVA n'a été que faiblement répercutée sur les consommateurs, la hausse les taclerait fortement. C'est ce qu'il s'est passé lorsque le gouvernement a fait marche arrière en augmentant ces taux à 7 % en 2012 puis à 10 % en 2014.

Une idée encore moins envisageable dans le contexte actuel. Alors que le chômage guette les salariés, le secteur de l'hébergement et de la restauration est le chef de file des pourvoyeurs d'emplois, avec une hausse de 3,1 % des embauches. Casser cette dynamique représente une perspective peu attrayante.

Un outil fiscal pour des objectifs disparates

Jouer avec les taux de TVA peut donc être périlleux. Ses répercussions sur les consommateurs ne sont pas directes, surtout selon les objectifs qui lui sont fixés. En tant qu'outil fiscal, elle peut

servir à réduire les inégalités mais aussi à restaurer la compétitivité, aider une entreprise ou appuyer l'investissement. Mais utiliser un seul outil avec différents objectifs peut être le moyen de n'en atteindre aucun. La baisse de la TVA sur les produits de première nécessité aurait pour objectif de soulager les ménages les plus modestes. L'objectif prôné par le débat national suffira-t-il pour qu'une telle réforme porte ses fruits ? Déjà plusieurs obstacles s'élevèrent, comme celui du droit européen qui fixe les régimes de TVA et interdit aux États membres d'appliquer un taux 0.

Baisser la TVA, certes, mais pour qui ? Au-delà des consommateurs, les intermédiaires, grandes surfaces et producteurs pourraient aussi détourner la baisse à leur profit. Les chemins suivis par cette baisse peuvent être nombreux. Mieux vaut alors être prudent et bien anticiper ses conséquences. **II**



Lire l'intégralité de l'article sur notre blog
« Dialogues économiques, l'éco à portée
de main », sur lejournal.cnrs.fr

1. Pour Aix-Marseille Sciences économiques (CNRS/ Aix-Marseille Université/EHESS/École centrale de Marseille). 2. Deux tiers d'entre eux représentant les affiliés à une union professionnelle. 3. Les taux devaient se répercuter sur 7 des 10 produits, 40 000 emplois supplémentaires prévus sur deux ans, une revalorisation des salaires et 1 milliard d'investissements. 4. La perte de recettes consentie par l'État était de l'ordre de 3,3 milliards d'euros en 2010 et 2011 (Rapport du Conseil des prélèvements obligatoires) mais l'État, au même moment, a supprimé une aide d'un montant de 600 millions d'euros visant à soutenir l'emploi dans le secteur Hôtels-Cafés-Restaurants, consentie depuis 2004.

À lire



BIOLOGIE

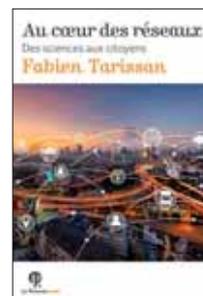
Et si, comme les organismes vivants, le cancer évoluait selon les règles darwiniennes? C'est la passionnante approche de Frédéric Thomas, biologiste de l'évolution, qui se penche sur le « crabe », vieil ennemi apparu il y a plus d'un demi-milliard d'années. Un ouvrage clair et diablement vivant qui, avec force métaphores et anecdotes, permet à tout lecteur de suivre les derniers travaux de la science en marche.

L'Abominable Secret du cancer, Frédéric Thomas, éditions humenSciences, mars 2019, 320 p., 22 €.

NUMÉRIQUE

Ce petit manuel rassemble une foule d'explications sur la notion de réseau, l'utilisation des données personnelles, les dangers des fake news, le fonctionnement des algorithmes et les « bulles » informationnelles dans lesquelles ils peuvent nous enfermer. Le tout dans un seul but : armer la prochaine génération de citoyens du monde numérique où, définitivement, il vaut mieux être outillé plutôt qu'instrumentalisé.

Au cœur des réseaux, des sciences aux citoyens, Fabien Tarissan, Éditions Le Pommier, mars 2019, 159 p., 17 €.



ENVIRONNEMENT

Entre « enfer vert » hostile à l'homme et « forêt vierge » pure et intouchée qu'il est urgent de préserver, la vision que nous avons de l'Amazonie ne dit rien de sa réalité géographique, économique, humaine. Spécialiste de l'Amazonie brésilienne, le géographe François-Michel Le Tourneau retrace dans ce livre l'histoire longue des populations et de l'environnement, et montre que la vision occidentale relève d'un malentendu. Non, l'Amazonie n'est pas une terre vierge à sa découverte au XVI^e siècle – elle est habitée depuis longtemps par les populations amérindiennes qui l'exploitent à leur mesure. Non, le Brésil moderne n'est pas tout entier voué à la déforestation de l'Amazonie ; si une surface équivalente à la France et la Grande-Bretagne réunies a été arasée depuis quarante ans, le Brésil est aussi le terreau depuis les années 1980 d'une idéologie de protection de l'environnement originale, forgée pour beaucoup en Amazonie, le socio-environmentalisme.

L'Amazonie, histoire, géographie, environnement, François-Michel Le Tourneau, CNRS Éditions, avril 2019, 524 p., 27 €.



VIVANT

Les plantes à fleurs représentent aujourd'hui plus de 90 % des 400 000 espèces de plantes. Pourtant, il n'en a pas toujours été ainsi. Car ces végétaux si diversifiés ne sont apparus que très tardivement dans l'histoire de la vie sur Terre, il y a 130 millions d'années – les premiers dinosaures ne les connaissaient même pas ! Comment sont-elles apparues et comment ont-elles réussi à se diversifier aussi vite ?

Charles Darwin lui-même avait qualifié la question d'« abominable mystère ». L'enquête scientifique dure depuis deux cents ans, mais la science a récemment accompli des progrès fantastiques, comme le raconte le biologiste François Parcy dans ce récit vivant et accessible.

L'histoire secrète des fleurs, François Parcy, éditions humenSciences, mai 2019, 240 p., 17 €.

ENVIRONNEMENT

Proposé par un prix Nobel de chimie il y a une vingtaine d'années pour désigner l'époque géologique dans laquelle notre planète serait entrée avec l'avènement de la révolution industrielle, le terme Anthropocène a connu un succès quasi immédiat aussi bien parmi les scientifiques que dans le grand public. Pour l'auteur de cet essai, spécialiste des changements climatiques et de leurs interactions avec l'histoire des sociétés, la force du concept d'Anthropocène est qu'il renvoie à la fois à l'histoire de la nature (à travers une nouvelle époque géologique) et à celle de l'humanité en tant que force géologique. D'où ce constat : alors que le progrès technique semble nous affranchir des contraintes naturelles, la crise écologique qu'il entraîne nous recentre inexorablement sur la question de la nature.

Aux racines de l'Anthropocène, une crise écologique reflet d'une crise de l'homme, Michel Magny, Éditions Le Bord de l'eau, mars 2019, 386 p., 26,40 €.



PRÉHISTOIRE

Au cours de ce tour de l'humanité en trente histoires de premières fois, le préhistorien Nicolas Teyssandier tente de répondre à des questions que nous nous posons tous quant à nos origines : D'où est-ce que je viens ? Qu'y avait-il avant moi ? Des histoires qui s'appuient sur les connaissances les plus récentes en préhistoire et en évolution humaine et qui reconstituent notre passé plurimillénaire.

Nos premières fois, Nicolas Teyssandier, Éditions La Ville brûlée, avril 2019, 192 p., 20 €.

Stéphane Jaillet, ingénieur de recherche CNRS au laboratoire Environnements, dynamiques et territoires de la montagne¹

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ROMAIN HECQUET

... du travail de cartographie géomorphologique que nous menions dans la grotte d'Orgnac, en Ardèche, il y a dix ans. À une centaine de mètres sous terre, trois kilomètres après l'entrée, nous voici dans cette cavité d'un rouge étonnant. En plus des éléments au sol, nous cherchions surtout à cartographier la voûte et ses arrondis. Nous, géomorphologues, interprétons ces formes. Ce ne sont alors plus de simples formes, mais des témoins du passé qui nous renseignent sur des processus qui ont eu lieu. Notre but est de comprendre la spéléogénèse de ce réseau souterrain, c'est-à-dire comment il s'est formé et ce que cela nous dit sur les paysages anciens à l'extérieur de la grotte. Celle-ci résulte de l'écoulement très lent d'une rivière souterraine durant le Pliocène (-5,3 à -2,5 millions d'années). Yago, à droite sur la photo, était en stage d'observation de 3^e dans notre laboratoire. J'encadre maintenant son stage de master 2! Quant à moi, je tenais l'appareil photo. En tant que géomorphologue, j'aime produire de l'image cartographique et topographique, la photographie est donc un support qui m'intéresse particulièrement. Avec des collègues, je travaille désormais sur d'autres grottes en Ardèche comme Chauvet, mais aussi en Patagonie.”

PHOTO : STÉPHANE JAILLET/EDYTEM/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. Unité CNRS/Université Savoie-Mont-Blanc/Ministère de la Culture.



Un géant à Meudon

Où l'on voit que la taille compte.

Mobilisé par l'anniversaire du CNRS, notre historien chroniqueur Denis Guthleben laisse cette année la place à des anecdotes sur l'histoire de l'organisme. L'occasion de découvrir comment est né l'électroaimant, ancêtre des grands équipements nationaux.



27 juillet 1928. Le Président Gaston Doumergue inaugure un monstre de 120 tonnes de fer et de cuivre. Il est installé dans les bâtiments de l'Office national des recherches scientifiques et industrielles et des inventions, l'ONRSI, à Meudon-Bellevue. C'est l'électroaimant le plus grand du monde.

Il aura fallu quinze ans pour que cette installation voit le jour. Le physicien Aimé Cotton l'appelle de ses vœux dès 1914, mais le projet est retardé par la Grande Guerre. Par la suite, sa construction fait l'objet d'un formidable consensus, d'un élan national : son financement est le fruit des efforts de l'Académie des sciences, du mécénat d'industriels, et même d'une souscription publique !

Mais au fait, pourquoi fallait-il un tel électroaimant ? Un électroaimant, c'est une installation incontournable pour la recherche fondamentale à l'époque. Elle permet de générer des champs

magnétiques afin que soient analysés les comportements de différents matériaux. C'est ainsi que les chercheurs ont découvert les électrons ou les magnétons...

Grâce à la puissance de « l'électroaimant de l'Académie des sciences », dès 1929, le physicien Salomon Rosenblum analyse la structure des rayons alpha et fait ainsi progresser la recherche sur la radioactivité.

Plus encore que son utilité scientifique, l'électroaimant géant de Meudon-Bellevue symbolise et préfigure les grands équipements nationaux que le futur CNRS mettra en œuvre au cours de son histoire. II

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

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #6



Entrez dans les coulisses
de la recherche



#6 actuellement
en vente
en librairie et Relay

200 pages / 12,50 €



www.carnetsdescience-larevue.fr

CNRS

CNRS EDITIONS

Pour construire le monde de demain, nous avons besoin de vous.

Du 5 juin au 4 juillet 2019,
le CNRS recrute
plus de 300 collaborateurs
et collaboratrices

carrieres.cnrs.fr



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes