



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes

CNRS

LE JOURNAL

Trimestriel n° 295 HIVER 2019



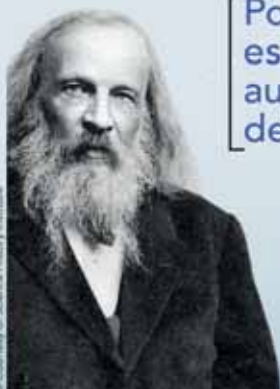
**UN JOUR AVEC
les directrices
et directeurs
d'unité**

**En 2019,
le CNRS célèbre
80 ans
d'histoire**

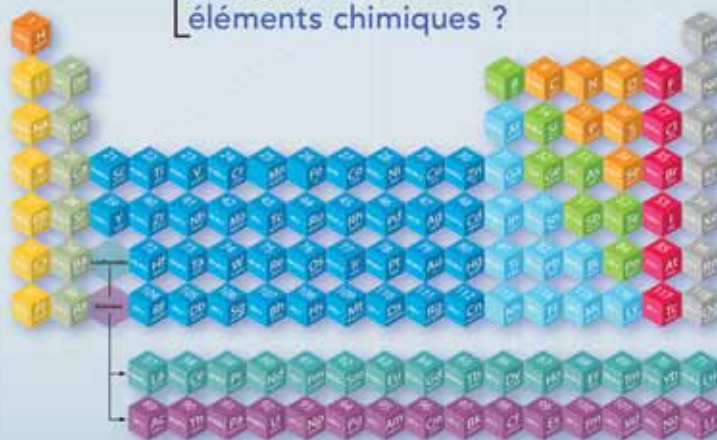
**Edith Heard
décrypte la
révolution
épigénétique**

ENVIRONNEMENT
En Arizona,
une mini-Terre
sous cloche

Le tableau de Mendeleïev 150 ans d'histoire



Pourquoi est-il toujours au cœur des recherches ?



Va-t-on découvrir de nouveaux éléments chimiques ?

En quoi le tableau de Mendeleïev était-il révolutionnaire ?

sagascience.com/mendeleiev



Depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes.

CARNETS DE SCIENCE

La revue du CNRS #5

Entrez dans les coulisses de la recherche

#5 actuellement en vente
en librairie et Relay

200 pages / 12,50 €



CNRS EDITIONS

www.carnetsdescience-larevue.fr

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

Téléphone : 01 44 96 53 88**E-mail :** lejournald@cnrs.fr**Le site Internet :** <https://lejournald.cnrs.fr>**Anciens numéros :**<https://lejournald.cnrs.fr/numeros-papiers>**Gérer son abonnement au journal (pour les agents du CNRS) :**<https://lejournald.cnrs.fr/abojournal>**Directeur de la publication :**

Antoine Petit

Directrice de la rédaction :

Brigitte Perucca

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaud

Rédactrice en chef adjointe :

Charline Zeitoun

Rédacteurs :Laure Cailloce, Yaroslav Pigenet,
Laurence Stenvot**Assistante de la rédaction et fabrication :**

Laurence Winter

Ont participé à ce numéro :Stéphanie Arc, Anne-Sophie Boutaud,
Anaïs Culot, Matthieu Grousson,
Denis Guthleben, Romain Hecquet,
Martin Koppe, Philippe Nessmann,
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.

En couverture :

le Laboratoire de chimie

et du caoutchouc

à Meudon-Bellevue en 1932.

PHOTO : FONDS HISTORIQUE/CNRS PHOTOTHÈQUE

En 2019, le CNRS célèbre ses 80 ans. Soyons francs, ce n'est pas forcément un âge qui fait rêver, mais c'est un âge qui impose le respect. Et, dans le cas du CNRS, ces 80 années ont de quoi rendre fier notre pays.

Nous allons fêter cet anniversaire à de multiples reprises, tout au long de l'année, avec l'idée de rappeler que la science nous fait avancer, idée forte illustrée par la devise de l'année : « depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes ».

Le 1^{er} février, nous avons lancé les festivités par un événement symbolique et inédit à la fois. Quelque 1 000 directrices et directeurs d'unité, venus des différents instituts, ont été réunis. Ces unités, presque toutes mixtes avec nos partenaires universitaires, forment la base de l'organisation scientifique du CNRS.

À travers eux c'est l'ensemble du personnel, ingénieurs, techniciens et personnels administratifs que j'ai voulu saluer. Leur professionnalisme et leur engagement sont remarquables, j'ai pu le constater sur le terrain tout au long de ma première année d'exercice.

Le CNRS est né le 19 octobre 1939, par décret du président Albert Lebrun. Il est l'aboutissement de plusieurs années de réflexion, conduites par le ministre de l'Éducation nationale Jean Zay et le sous-secrétaire d'État à la Recherche Jean Perrin, Prix Nobel de physique.

Avec le recul, le moment peut sembler surprenant. Une idée née pendant le Front populaire aboutit

alors que la France vient de déclarer la guerre au III^e Reich. L'enjeu est clair, il faut mobiliser toutes les forces vives de la Nation pour vaincre. Et indubitablement, la recherche en fait partie.

Et aujourd'hui, 80 ans après ? La recherche publique reste un atout essentiel pour notre pays. Le CNRS en est aujourd'hui un ambassadeur exceptionnel, tant sur notre territoire qu'à l'international. À ce titre, il doit poursuivre son évolution, pour se montrer plus agile, plus réactif, plus ouvert encore. Avec ses partenaires, il doit mettre au cœur de son action l'avancée des connaissances pour une société de progrès et pour des innovations de rupture. Et la France continuera ainsi à être fière de son CNRS.

Antoine Petit,
président-directeur général du CNRS



© F. PUSCINS PHOTO THÈQUE



© ED. ALCOCK/WKY.O.P.

GRAND FORMAT

13

Le CNRS célèbre ses 80 ans	14
Mémoires de glace	24
Edith Heard ou la révolution épigénétique	30

10

François Recanati,
l'esprit du langage

© F. PLASCINS/PHOTOTHÈQUE

EN PERSONNE 5

Un jour avec les directeurs d'unité du CNRS	6
Yann Traonmilin, mathématicien tout-terrain	8
3 questions à Sandra Lavorel	9

Le poisson-clown
traîne toujours en bande

48

© L. HONORÉ

EN ACTION 37

Une mini-Terre sous cloche	38
Un plan pour les doctorants	40
Loïc Bertrand : « Les sciences du patrimoine sont en plein renouveau »	42
Un capteur pour une meilleure prise en charge des AVC	44
Le solaire brille déjà	46
La 5G en mal de sécurité	50
Enterrer le carbone pour soulager l'atmosphère	52
La chimie voit « more than Moore »	54

60

S'incarner
dans un corps virtuel

© J.-C. MOSCHETTI/INRIA

LES IDÉES 55

Nos souvenirs, c'est pour la vie !	56
Le SI reprend sa température	58
Que reste-t-il de la Déclaration universelle des droits de l'homme ?	62

CARNET DE BORD

Philippe Caïs, nous raconte un souvenir de recherche 64

IL ÉTAIT UNE FOIS LE CNRS

Un sou est un sou 66

EN PERSONNE

A detailed illustration of a woman's face, rendered in a soft, painterly style. She has brown, wavy hair and is looking slightly to the right. Her face is partially obscured by numerous overlapping circles of various colors, including shades of purple, blue, green, red, and brown. The circles have a textured, fabric-like appearance. The background is a light, neutral tone.

*Les directrices et les directeurs
de laboratoire côtoient
un philosophe du langage et
une experte de la biodiversité.*

ILLUSTRATION : JULIE COCKBURN POUR CNRS LE JOURNAL

Un jour avec les directeurs d'unité du CNRS

Pour la première fois, le CNRS a réuni le 1^{er} février, à Paris, un millier de directrices et directeurs de laboratoire. Retour sur cette journée exceptionnelle qui s'est tenue à la Maison de la Mutualité.

PAR LAURENCE STENVOT

Vendredi 1^{er} février, 8 h 30. Devant les portes de l'auditorium, plusieurs centaines de directrices et directeurs défilent et se saluent. Pour certains d'entre eux, comme Jane Lecomte, directrice de l'unité Écologie, systématique et évolution¹, cette journée est l'occasion de rencontrer le président-directeur général du CNRS, Antoine Petit : « *J'attends du président qu'il nous parle de sa vision de la politique scientifique. L'anniversaire des 80 ans est aussi l'occasion de revenir sur l'histoire de l'organisme.* » D'autres, comme Maud Rotger, directrice du Groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique², se réjouissent « *d'échanger avec les collègues. J'ai déjà eu l'occasion de rencontrer les directeurs d'unité de la délégation Centre-Est. Cela nous a permis de discuter de notre vie en laboratoire, des choses faciles comme des plus difficiles* », explique-t-elle en souriant. En prenant place dans la salle, tous attendent aussi avec impatience le discours d'un invité de dernière minute : le Premier ministre Édouard Philippe.

Pour Antoine Petit qui accueille le chef de gouvernement, c'est l'occasion de rappeler l'importance de donner les moyens à la recherche française de conserver sa place sur la scène internationale. Avant de dresser la liste des priorités pour le CNRS : les partenariats académiques, les relations avec la société et le monde économique, la pluridisciplinarité et l'ouverture internationale. Il annonce au fil de son discours la création d'une fondation CNRS pour faciliter les dons des citoyens envers l'organisme et celle, à l'étude, d'un fonds d'investissement dédié à la deep-tech.

Le Premier ministre n'est pas venu les mains vides. Il annonce la mise en place d'une loi de programmation pluriannuelle pour la recherche qui sera présentée au Parlement en 2020 et dont le chantier est confié à la ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Frédérique Vidal. Trois groupes de travail

devront remettre au gouvernement des propositions pour renforcer les capacités de financement de la recherche, adapter les politiques de ressources humaines et pour développer la recherche partenariale. Mais il faudra « *faire des choix* », souligne Édouard Philippe à l'attention des représentants du monde académique, présents en nombre dans l'assemblée. « *La création d'une loi de programmation pluriannuelle est une très bonne chose si elle garantit un certain nombre de postes aux chercheuses et chercheurs*, estime Katia Genel, directrice adjointe du Centre Marc Bloch³ à Berlin. *Il n'y a rien de plus déstabilisant pour un chercheur qu'un manque de perspectives d'avenir.* » Une loi pour laquelle le Premier ministre invite les scientifiques à s'engager. « *Si l'on m'interroge, je répondrai. Je préfère être moteur des choses* », rapporte Hubert Perrot, directeur du Laboratoire interfaces et systèmes électroniques⁴.

Objectif simplification

Sur scène, un dialogue sur la politique de la recherche s'installe entre Frédérique Vidal et Carlos Moedas, commissaire européen à la Recherche et à l'Innovation. La ministre revient sur l'un des objectifs de la future loi : la simplification. « *On ne peut plus passer 1/5^e de notre temps à écrire de la science et 4/5^e à remplir des fichiers Excel!* » Tonnerre d'applaudissements. « *Nous sommes à la fois dans les orientations scientifiques et dans les ressources humaines*, confirme Moncef Benkirane, directeur de l'Institut de génétique humaine⁵ à la tête d'une unité de 250 personnes comprenant 20 équipes et 9 bourses de l'European Research Council (ERC). *C'est toute une partie administrative qui enlève du*



▲ Le Premier ministre Édouard Philippe a annoncé la mise en place d'une loi de programmation pluriannuelle pour la recherche.



► Frédérique Vidal et Antoine Petit ont clos cette journée accompagnés notamment sur scène par les directeurs d'institut.



© PHOTOS: X. PIERREQUINIS

temps au directeur pour aller négocier des contrats ou chercher des fonds. »

Science ouverte

La présentation lumineuse de Monica Brînzei, double lauréate de l'ERC, a ouvert la voie à celle de Carlos Moedas qui évoque Horizon 2020 « dont le CNRS est le plus grand bénéficiaire dans toute l'Europe avec plus de 700 millions d'euros ». Il annonce avoir proposé une augmentation du budget de l'ERC passant ainsi de 13 à 18 milliards d'euros dans le cadre du programme Horizon Europe (2021-2027). Une annonce qui réjouit Luc Frappat, directeur du laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique théorique (LAPTH)⁶ : « Un ERC est un ballon d'oxygène pour un laboratoire. C'est un levier en ressources humaines très important ! »

Après une présentation de Gérard Mourou, Prix Nobel de physique 2018 sur la lumière extrême, c'est au tour d'Antoine Petit, d'Alain Schuhl, directeur général délégué à la science, de Michel Mortier, directeur général délégué à l'innovation, et de Christophe Coudroy, directeur général délégué aux ressources, de répondre aux questions déposées par les directeurs d'unité sur la plateforme d'inscription. La science ouverte ? Pour Alain Schuhl, la question n'est pas de « savoir si on y va, mais à quelle vitesse on y va ! » La thématique semble populaire au sein du public. « Je suis physicien théoricien, explique le directeur du LAPTH. Les physiciens sont parmi les premiers au monde à avoir participé à la bibliothèque digitale ouverte archive.org, en 1991. Aujourd'hui, aucune publication ne sort de mon laboratoire sans être passée par les archives ouvertes. » Parmi les autres thématiques abordées : la rémunération, l'interdisciplinarité ou encore l'intégrité scientifique.

La pause déjeuner permet de partager ses impressions sur la matinée et d'échanger sur le rôle et le quotidien à la tête d'un laboratoire. « Un directeur d'unité est un chef d'orchestre qui porte une stratégie scientifique dans tous les lieux où elle peut être entendue », résume ainsi Jane Lecomte.

Retour sur scène. Gilles Roussel, président de la Conférence des présidents d'université, revient sur la spécificité de la recherche française née de l'interaction entre organismes et universités. Dans la foulée, l'historien Denis Guthleben captive son auditoire avec le récit des origines de l'organisme (lire aussi p. 21). La salle se remplit d'émotion quand résonne la voix de Jean Perrin, annonçant la création du CNRS. Enfin, l'innovation et la valorisation s'incarnent dans les interventions de Valérie Castellani, lauréate de la médaille de l'innovation du CNRS 2018, et de celle de Marie-Noëlle Semeria, directrice R&D de Total.

« La journée a été riche et instructive. L'emploi, la rémunération, l'attractivité... Nous avons pu en savoir plus sur les optiques du président et sur sa ligne. Quant à la venue du Premier ministre, nous espérons que c'est un signal positif pour le CNRS », conclut Élisabeth Gassiat, directrice du laboratoire de Mathématiques d'Orsay⁷. ||

1. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud/AgroParisTech. 2. Unité CNRS/Univ. de Reims Champagne-Ardenne. 3. Unité CNRS/Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères. 4. Unité CNRS/Sorbonne Université. 5. Unité CNRS/Univ. de Montpellier. 6. Unité CNRS/Univ. Savoie Mont-Blanc. 7. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud.

Mathématiques. Son credo ? Le traitement des données. Sa passion ? La recherche. C'est pour elle que Yann Traonmilin quitte son poste d'ingénieur du secteur privé et rejoint le CNRS. Portrait.

PAR CHARLINE ZEITOUN

Yann Traonmilin, mathématicien tout-terrain

Un peu d'abstraction dans ce monde de brut. Voilà ce dont rêvait Yann Traonmilin quand ses algorithmes de traitement des données ne voyaient pas plus loin que la détection de nappes de pétrole. Ingénieur en Recherche & Développement chez CGGVeritas, entreprise française spécialisée dans l'exploration du sous-sol, le jeune diplômé de Télécom Paristech¹ avait fini par jalouser la vie de chercheur, libre de cogiter sur la modélisation mathématique des algorithmes, sans se soucier en permanence de leur implémentation... « *J'ai donc démissionné* », raconte-t-il sans état d'âme. Chercheur à l'Institut de mathématiques de Bordeaux² depuis un an, il est tout simplement heureux.

« *Je ne me suis pas lancé à l'aveuglette*, précise le jeune homme de 34 ans. *Peu avant ma démission, en 2011, j'ai repris contact avec mes professeurs de Télécom Paristech...* » Il est alors « expat » au Caire, en Égypte, depuis deux ans à peine, toujours pour le compte de CGGVeritas, après trois ans de services au siège de la société, en région parisienne. Et son pain quotidien est fait de signaux sismiques d'exploration.

« *Le mode opératoire consiste à créer une onde sismique dans la mer ou la sous-sol, une vibration en somme, puis d'en mesurer les réflexions pour obtenir une image 3D du milieu à sonder* », explique-t-il. La vitesse de propagation des signaux, qui varie selon les obstacles, permet en effet de déterminer à quels types de roches se confrontent les ondes dans leur course et ainsi de donner aux géologues assez d'indices pour postuler ou non la présence de gisements alentours. À condition de « débruiter » les ondes mesurées et ainsi de les expurger des signaux parasites. C'est dans ce traitement décapant que s'illustre l'ingénieur.

Du Caire au CNRS

Mais au Caire, il déchantait vite. « *Je pensais que j'avais besoin de changer d'air. Il s'est avéré que c'est d'un changement plus profond dont j'avais besoin...* », se souvient-il. Pire : là-bas, dans une équipe plus réduite,

ONDE SISMIQUE

Onde élastique (c'est-à-dire fondée sur le déplacement de matière et jamais dans le vide) se propageant sur Terre, dans toutes les directions, à la suite d'un séisme.

l'aspect « recherche » de sa mission diminue comme peau de chagrin. Fort de l'accord trouvé avec son ancienne école – « *ils avaient une bourse de thèse à pourvoir, mon CV les a intéressés* » –, il abandonne son confortable salaire d'ingénieur pour une allocation de 1 300 euros par mois. Le voilà thésard en traitement des images à Télécom Paristech, puis post-doctorant, trois ans supplémentaires, à Inria, à Rennes. Il retrouve avec appétit « *l'état de l'art de la recherche académique* », après cinq ans de diète, « *déconnecté dans l'industrie* », faute d'accès facile aux publications et colloques sur les derniers travaux fondamentaux. Et ensuite ? « *Rien n'était garanti...* », raconte-t-il.

Pour persévérer dans la recherche, il lui faut un poste fixe. Maître de conférences, chargé de recherche, à Inria ou au CNRS, il passe tous les concours de sa catégorie. Et les rate tous. Deux fois.

1. École d'ingénieurs spécialisée dans les sciences et technologies du numérique, de l'information et des télécommunications. 2. Unité CNRS/Université de Bordeaux/Bordeaux INP.

« Je pensais que j'avais besoin de changer d'air. Il s'est avéré que c'est d'un changement plus profond dont j'avais besoin... »

© F. PLASCHIS PHOTO THÉRIQUE

« Je ne me suis pas vexé ! s'amuse-t-il, ces concours sont très élitistes. » Mais ses travaux de fin de post-doctorat, sur des modélisations plus performantes que celles de la littérature de l'époque, forcent le respect. La troisième tentative au CNRS sera la bonne. Un souvenir euphorique, « presque inattendu après tant d'échecs ! ».

Chasseur de signaux parasites

« Aujourd'hui je continue de travailler sur la restauration et l'extraction des données mais je peux enfin faire des améliorations de fond sur mes modèles mathématiques. » Toujours valables dans l'exploration pétrolière, « secteur parfaitement digne d'intérêt », ils peuvent aussi servir dans l'imagerie médicale, l'astronomie ou la photographie, son actuelle marotte. « Le traitement efficace des données devient crucial, en recherche comme dans l'industrie. En particulier pour les images dites "multimodales" parce qu'issues de plusieurs types d'instruments. »

D'où une inflation de signaux parasites et disparates à éliminer...

Spécialiste tout-terrain des sciences du numérique, Yann Traonmilin ne fait pas une croix sur de nouvelles interactions avec l'industrie : « Entre le public et le privé, les échanges sont bénéfiques dans les deux sens. » Même si les recrutements se font plus souvent dans le sens opposé à celui emprunté par le jeune homme. Et généralement au profit des géants américains capables de souffler les meilleurs profils. « La liberté accordée par le CNRS n'a pas de prix pour moi, mais des salaires plus élevés permettraient certes de retenir plus de personnes de talent sur le long terme. » Et lui, les Google et autres Facebook, cadors de l'intelligence artificielle et des data, cela ne le tente-t-il pas ? « Personne ne m'a appelé ! sourit-il, mais je n'ai rien contre une éventuelle collaboration, puisque la structure du CNRS le permet. Si scientifiquement et déontologiquement cela me convient, pourquoi pas... » II

3 questions à

Sandra Lavorel,

membre du groupe d'experts de la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) dont la 7^e édition se tiendra à Paris en avril.



© ACAD

PROPOS RECUEILLIS PAR ANAIS CULOT

Quels seront les temps forts de la prochaine session de l'IPBES ?

Sandra Lavorel¹ : Après les évaluations régionales approuvées par les gouvernements en 2018, c'est au tour de l'évaluation mondiale des écosystèmes. Les messages pour les décideurs seront négociés mot par mot. Autre temps fort : les pays membres devront également valider les grandes lignes du second programme de travail pour 2020 à 2030.

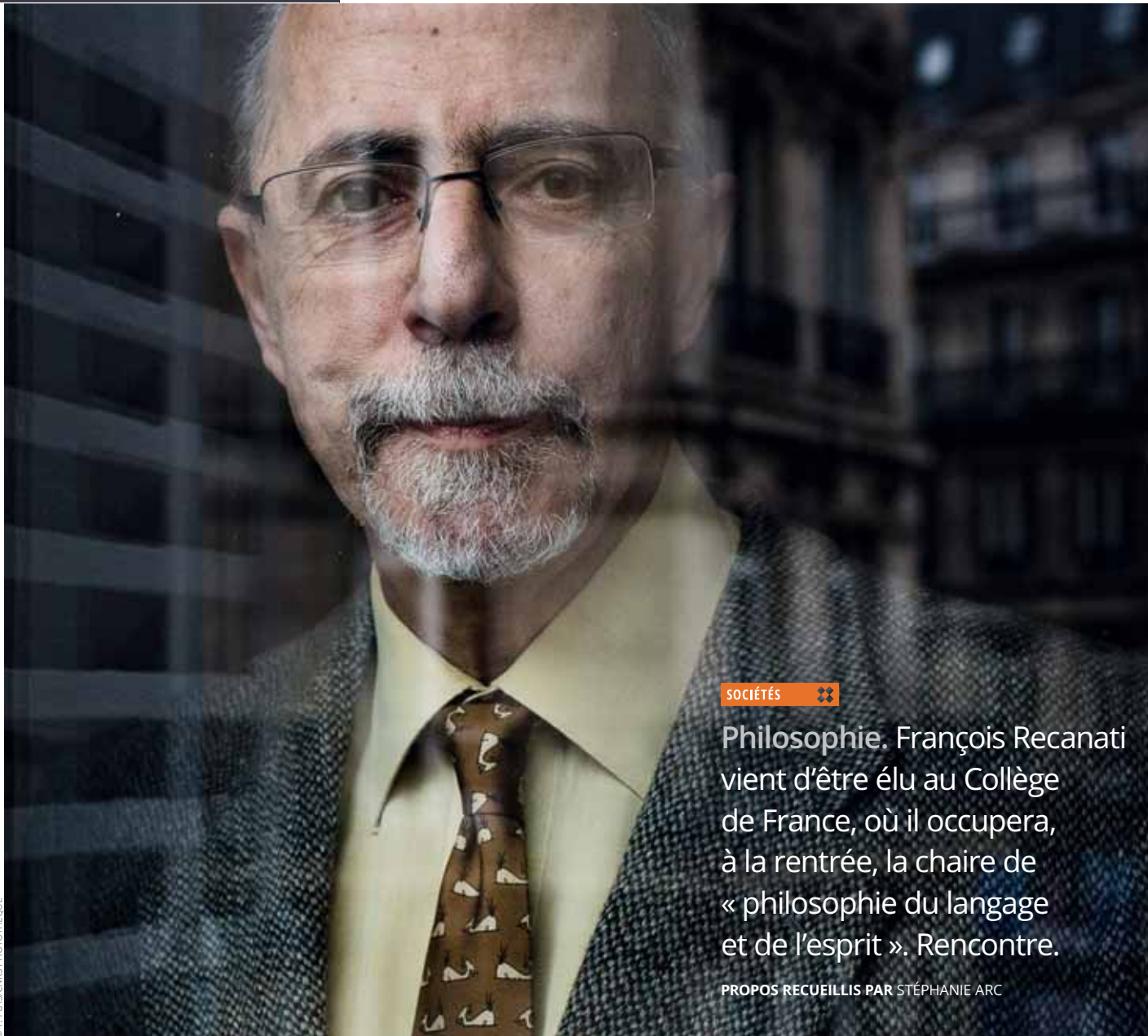
D'un point de vue scientifique que peut-on en attendre ?

S.L. : L'idée des rapports est d'inciter à l'action. Un des enjeux pour y parvenir est l'intégration de la diversité des connaissances. Les évaluations de l'IPBES résument à la fois ce que l'on sait mais aussi nos lacunes. Ces dernières seront transmises aux décideurs, organismes de recherche, financeurs et à l'ensemble de la communauté scientifique. Ainsi, l'IPBES sera informée des sujets prioritaires pour les prochaines évaluations.

Et d'un point de vue politique ?

S.L. : Cette session va apporter des éléments nécessaires à la révision de la Convention sur la diversité biologique² qui prend fin en 2020. Elle permettra aussi de dresser un premier bilan sur comment nous avons réussi ou non à atteindre les objectifs du premier programme de développement durable dont les échéances politiques sont à l'horizon 2030.

1. Directrice de recherche au CNRS, Sandra Lavorel travaille au Laboratoire d'écologie alpine (CNRS/Université Savoie Mont-Blanc/Université Grenoble Alpes) 2. Traité international adopté en 1992 lors du sommet de la Terre de Rio de Janeiro.



SOCIÉTÉS

Philosophie. François Recanati vient d'être élu au Collège de France, où il occupera, à la rentrée, la chaire de « philosophie du langage et de l'esprit ». Rencontre.

PROPOS RECUEILLIS PAR STÉPHANIE ARC

François Recanati, l'esprit du langage

Votre contribution aux recherches sur le langage a été majeure pour la philosophie, mais aussi pour la linguistique. Pouvez-vous nous l'expliquer ?

François Recanati : La philosophie du langage du XX^e siècle a eu un impact considérable sur la linguistique. C'est grâce à elle que se sont développées des sous-disciplines aujourd'hui majeures de la linguistique, comme la sémantique formelle et la pragmatique. C'est à ce dernier domaine, et plus spécifiquement à la « théorie des actes de parole », que j'ai œuvré au début de ma carrière. L'idée est que le sens d'un énoncé ne se

détermine pas seulement à partir de règles sémantiques : il faut aussi tenir compte du fait que nous accomplissons des actes de parole. Notre parole véhicule une intention, une promesse ou une menace par exemple, qui doit être identifiée par notre interlocuteur. Plus récemment, j'ai défendu une position théorique connue sous le nom de « contextualisme », selon laquelle le contenu d'un énoncé — même son contenu « littéral » — ne saurait être épuisé par la phrase qui l'exprime, mais dépend irréductiblement du contexte dans lequel elle est employée.

Vous avez aussi montré qu'on ne peut pas penser le langage sans penser... la pensée.

F. R. : En effet, lorsque l'on veut analyser la signification d'un énoncé, on ne peut pas seulement la considérer en termes de relation des mots au monde ; on doit aussi prendre en compte un niveau intermédiaire de représentation mentale, et donc la pensée. C'est un point sur lequel, dans ma théorie des « dossiers mentaux », j'ai beaucoup insisté. D'autre part, on s'est aperçu que les concepts fondamentaux de la philosophie du langage trouvent à s'appliquer dans l'étude de la pensée elle-même. Ces dernières années, la philosophie du langage et la philosophie de l'esprit ont eu tendance à fusionner au sein d'une théorie générale du contenu qui prend pour objet les concepts tout autant que les mots, les représentations mentales tout autant que linguistiques. Ce qui explique l'intitulé de ma chaire (« Philosophie du langage et de l'esprit »). Je cherche à comprendre ce système de représentations complexe qu'est l'esprit humain, et la façon dont s'articulent perception, action, pensée, langage, communication et raisonnement. D'où mon implication dans les sciences cognitives, notamment à travers l'Institut Jean-Nicod, le laboratoire que j'ai cofondé puis dirigé pendant huit ans.

Vous êtes, en France, l'un des principaux représentants de la philosophie analytique, courant philosophique surtout implanté dans les pays anglo-saxons. Comment vous y êtes-vous intéressé ?

F. R. : La recherche de la clarté et de la précision, caractéristiques de la philosophie analytique, m'a immédiatement séduit lorsque je l'ai découverte au milieu des années 1970. Inspirés par la pratique scientifique, les philosophes de ce courant fonctionnent de façon collective : ils critiquent mutuellement leurs travaux et c'est ainsi qu'ils font progresser la discipline. D'où la nécessité d'être le plus clair possible, afin de faciliter la compréhension et le dialogue. À l'époque, pourtant, je me situais, en tant que philosophe, à l'autre bout de l'échiquier : j'étais lacanien, et donc fort éloigné de cet idéal de clarté et de précision ! Mais si, au début des années 1970, j'avais été séduit par l'aspect flamboyant de l'approche lacanienne, je la trouvais aussi très frustrante intellectuellement : je ne comprenais pas moi-même ce que j'écrivais. La découverte de la philosophie analytique, au sortir de l'agrégation, a été une libération. J'ai réorienté ma carrière, lui consacrant ma thèse et mon enseignement à l'École des hautes études en sciences sociales. Puis les choses se sont enchaînées :

j'ai publié un livre, tiré de mon enseignement, je suis parti faire un post-doctorat à Oxford, et j'ai eu la chance d'entrer au CNRS.

Point d'orgue de votre carrière, votre élection au Collège de France est aussi une reconnaissance pour ce courant philosophique minoritaire dans l'Hexagone...

F. R. : C'est vrai, la philosophie analytique a peiné à s'implanter en France, où elle est considérée comme la philosophie des Anglo-Saxons (comme on dit). Elle a pourtant, outre le courant anglais, des sources autrichienne, allemande, polonaise... Mais l'émigration de nombreux philosophes analytiques européens vers les États-Unis ou l'Australie lors de la Seconde Guerre en a fait la philosophie dominante dans le monde anglophone. J'ai moi-même très tôt fait le choix de publier mes travaux en anglais². J'ai aussi enseigné comme professeur invité dans des universités britanniques et américaines, telles St Andrews, Berkeley ou Harvard.

Au point de figurer sur la liste des « meilleurs philosophes du langage anglophones de la période post-1945 » établie par le philosophe Brian Leiter...

F. R. : Parallèlement, j'ai un peu disparu des radars français, bien que, d'un point de vue institutionnel, j'aie mené toute ma carrière de recherche ici. Quoi qu'il en soit, pour revenir à votre question, la philosophie analytique est représentée au Collège de France depuis plus d'un demi-siècle – depuis l'élection de Jules Vuillemin, le successeur de Merleau-Ponty, en 1962. Je ne suis donc pas le premier à y être élu ! Après Vuillemin, d'autres ont repris le flambeau, dont Jacques Bouveresse, qui a joué un rôle clé dans l'émergence de la génération des philosophes analytiques à laquelle j'appartiens. L'actuelle titulaire de la chaire de métaphysique, Claudine Tiercelin, se rattache aussi à cette tradition. **II**

Repères

1979	Entre au CNRS
1991-1993	Devient le premier président de la Société européenne de philosophie analytique
2008	Est élu directeur d'études à l'EHESS
2012	Est élu membre étranger de l'American Academy of Arts and Sciences
2014	Reçoit la médaille d'argent du CNRS
2019	Entre au Collège de France



Philosophie du langage (et de l'esprit), Gallimard, coll. « Folio essais », 2008, 9,40 €.

1. Directeur de recherche CNRS à l'Institut Jean-Nicod (CNRS/ENS/EHESS) et directeur d'études à l'EHESS. 2. Seuls quatre de ses livres sont disponibles en français tandis qu'une demi-douzaine d'ouvrages sont parus en anglais sans être traduits — du moins en français (les travaux les plus connus sont traduits dans plusieurs langues, et un programme de traduction complète en chinois est en cours à l'Université jiao Tong).

Ali Charara, nouveau directeur de l'INS2I



© H. BALLETT/HEUDIASYC

Le 1^{er} janvier 2019, Ali Charara, professeur à l'université de technologie de Compiègne, a pris la direction de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I) du CNRS, succédant à Michel Bidoit qui occupait cette fonction depuis mai 2013. Ali Charara, spécialiste d'automatique et de robotique, a notamment travaillé sur l'observation et la commande de véhicules autonomes. Directeur du laboratoire Heuristique et diagnostic

des systèmes complexes (Heudiasyc)¹ de 2008 à 2017, il a aussi dirigé la Fédération de recherche Systèmes hétérogènes en interaction² et le Labex Maîtrise des systèmes de systèmes technologiques (MS2T), et contribué à la création du laboratoire commun SIVALab entre Renault et Heudiasyc.

André Le Bivic, à la tête de l'INSB



© INSB

Depuis le 1^{er} février, André Le Bivic est le nouveau directeur de l'Institut des sciences biologiques (INSB) du CNRS. Il succède à Catherine Jessu qui dirigeait l'Institut depuis mai 2013. Directeur de recherche au CNRS, André Le Bivic est un spécialiste des cellules épithéliales, omniprésentes dans notre corps. Leurs dysfonctionnements sont liés à de nombreuses pathologies. Directeur de l'Institut de biologie du développement de Marseille³ depuis 2012, il a été successivement directeur adjoint scientifique de l'INSB de 2006 à 2010, directeur adjoint en charge de la stratégie scientifique en 2011 et dernièrement délégué scientifique, notamment pour le programme ATIP-Avenir commun à l'Inserm et aux Conférences Jacques Monod.

NOMINATIONS

Hugues de La Giraudière, secrétaire général du contrôle général des Armées, a été nommé directeur des ressources humaines du CNRS, à compter du 1^{er} janvier 2019.

Valérie Lucas, déléguée générale de l'Association française des industries de la détergence, a été nommée directrice des relations avec les entreprises, à compter du 15 février.

21 Lauréats du CNRS ont reçu, en novembre dernier, une bourse « Consolidator Grant », décernée par le Conseil européen de la recherche (ERC)⁴ à 291 chercheurs... Ce qui place le CNRS en tête des organismes européens.

Dorothee Berthomieu, présidente du Conseil scientifique

La chimiste Dorothee Berthomieu a été élue présidente du Conseil scientifique du CNRS pour le mandat 2018-2023. Le Conseil est constitué de trente membres, élus ou nommés. Dorothee Berthomieu, qui mène ses recherches à l'Institut de chimie moléculaire et des matériaux-Institut Charles Gerhardt Montpellier⁵, succède à Bruno Chaudret.

➤ <http://www.cnrs.fr/comitenational>

Valérie Masson-Delmotte dans le Top 10

Valérie Masson-Delmotte, directrice de recherche CEA au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement⁶ a été classée par le magazine *Nature* parmi les 10 scientifiques qui ont compté en 2018. Depuis 2015, la paléoclimatologue est coprésidente du groupe n° 1 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.



© F. BEURRIER/REA

Trois étoiles pour le CNRS

Le 5 décembre 2018 a eu lieu la remise des Étoiles de l'Europe au musée du quai Branly, à Paris. Cette cérémonie récompense chaque année des programmes européens lancés en France. Trois scientifiques du CNRS sont au palmarès : Séverine Gomès du Centre d'énergétique et de thermique de Lyon⁷, André Gourdon du Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, et Ruxandra Gref de l'Institut des sciences moléculaires d'Orsay⁸.

➤ www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/les-etoiles-de-leurope-2018

1. 2. Unité CNRS/Université de technologie de Compiègne. 3. Unité CNRS/Aix Marseille Université. 4. Pour European Research Council. 5. Unité CNRS/École nationale supérieure de chimie de Montpellier/Université de Montpellier. 6. Unité CNRS/CEA/Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines/Institut Pierre-Simon-Laplace. 7. Unité CNRS/Institut national des sciences appliquées de Lyon/Université Claude-Bernard Lyon-1/Institut Carnot. 8. Unité CNRS/Université Paris-Sud - Université Paris Saclay.

GRAND FORMAT

A detailed illustration of a woman with voluminous, wavy blonde hair, shown in profile from the chest up. She is wearing a black top. Her eyes are completely obscured by a wide, horizontal band of rainbow-colored fabric, which serves as a blindfold. The colors of the rainbow are vibrant and distinct. The background is a plain, light grey.

*Où l'on saura tout
sur les 80 ans du CNRS, la mémoire
des glaciers et les promesses
de l'épigénétique.*

ILLUSTRATION : JULIE COCKBURN POUR CNRS LE JOURNAL



2019

*Le
CNRS
célèbre
ses*

80



En 1939, le CNRS était créé autour de valeurs fortes : liberté de la recherche, ouverture sur le monde, progrès social, innovation, diffusion de la culture scientifique... En 2019, le CNRS, fidèle à ces valeurs insufflées par Jean Perrin et Jean Zay, célèbre ses 80 ans à travers de nombreux événements organisés en France et à l'étranger.

UN DOSSIER RÉALISÉ PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD,
DENIS GUTHLEBEN ET PHILIPPE NESSMANN



Art. 1^{er} : Il est créé auprès du ministère de l'Éducation nationale un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et dénommé Centre national de la recherche scientifique. »

Le 19 octobre 1939, le décret du président de la République Albert Lebrun, fruit de l'opiniâtreté du physicien Jean Perrin et du ministre Jean Zay, allait bouleverser le cours de la science française. Huit décennies plus tard, le CNRS a bien grandi. L'organisme aux 22 prix Nobel compte 1 100 laboratoires en France et à l'étranger, emploie 33 000 personnes au service de toutes les disciplines scientifiques et publie quelque 50 000 articles scientifiques en moyenne chaque année, ce qui en fait l'un des leaders mondiaux de la science.

Une croissance impressionnante qui ne lui a rien fait perdre de l'esprit insufflé par ses pères fondateurs : « 80 ans après sa création, la vocation première du CNRS est toujours là : dépasser les frontières de la connaissance, promouvoir et favoriser la diversité et le foisonnement des activités, explique Antoine Petit, président-directeur général du CNRS. La science accompagne les évolutions, les changements, les bouleversements du monde. Elle est présente au quotidien et dans tous les quotidiens, par la question des mobilités ou du sport, pour les mémoires collectives, dans l'analyse des mouvements sociaux, pour l'exploration de l'Univers... Axé sur la recherche fondamentale, la pluridisciplinarité et la transdisciplinarité, le CNRS est un bel ambassadeur de la science française. » Son 80^e anniversaire est une parfaite occasion de le rappeler, de raconter la science qui y est faite et de réaffirmer les valeurs qui sont aux fondements de l'organisme, telles que la liberté de la ...



ans

“De l’histoire de la scène punk à l’intelligence artificielle, le CNRS dévoile à tous la richesse de la science.”

... recherche et l’ouverture sur le monde, l’avancée des connaissances et le progrès social, la coopération et l’excellence scientifiques, l’innovation et le transfert des connaissances, ou encore la diffusion de la culture scientifique comme antidote aux contre-vérités et à l’obscurantisme.

Ce sont ces valeurs que les centaines d’événements qui jalonnent cette année anniversaire vont permettre de partager avec le grand public, les élus, les entrepreneurs et au sein même de la communauté scientifique, sous la devise commune « depuis 80 ans, nos connaissances bâtissent de nouveaux mondes ». Et c’est par un événement interne, avec les cadres du CNRS, que les célébrations ont commencé en fanfare le 1^{er} février : plus de 1 000 personnes se sont réunies à la Maison de la Mutualité pour la première Convention des directrices et directeurs d’unité du CNRS, avec un invité de marque en la présence du Premier ministre Édouard Philippe (lire p. 6).

Une recherche connectée au monde

Présent sur l’ensemble du territoire français, le CNRS l’est aussi dans le monde, avec notamment 38 unités mixtes internationales (UMI) et 26 unités mixtes des instituts français de recherche à l’étranger (Umifre) réparties sur tous les continents. Fin octobre, un autre événement inédit est donc prévu pour rassembler cette fois des représentants de la recherche mondiale. Le CNRS prend part aujourd’hui aux grands défis contemporains aux côtés des institutions les plus importantes de la planète, défendant pour cela la libre circulation des chercheurs et des idées. Un scientifique sur trois recruté au CNRS est étranger. Et près de 60 % de ses publications impliquent au moins un laboratoire hors de nos frontières. « Nous ne formons pas seulement une équipe sur le plan scientifique mais également sur le plan politique, précise Martin Stratmann, directeur de l’institut Max Planck. Nous joignons nos forces pour le meilleur, pour l’excellence scientifique en Europe. C’est d’une importance primordiale de nos jours. »¹

Les partenaires industriels et le monde socio-économique seront aussi de la fête cette année. Pour la première fois, le CNRS sera par exemple présent en mai au Salon Vivatech, pour y présenter quelques-unes de ses meilleures start-up parmi les 1 400 créées ces vingt dernières années. Une belle opportunité pour faire connaître la capacité de l’organisme à innover et à nouer des liens avec le tissu socio-économique, concrétisée par plus de 130 structures de recherche communes avec des entreprises et par un portefeuille de plus de 5 600 familles de brevets.

Mais le CNRS part aussi à la rencontre de tous les citoyens pour leur faire découvrir les travaux des scientifiques. Ainsi, depuis le 31 janvier, les 200 000 voyageurs qui arpentent chaque jour le couloir de la station Montparnasse-Bienvenue de la RATP peuvent poser leur regard sur

une fresque de 134 mètres de long, exposant les travaux de chercheurs, ingénieurs et techniciens. Plus précisément, 35 belles et grandes images de science les montrent en train d’explorer, sur le terrain ou en laboratoire, les mondes vivants, anciens, polaires, océaniques ou virtuels.

Et ce n’est qu’un début : pour que la célébration soit participative et reflète la diversité et la richesse des recherches menées sur le terrain, un appel à projet a été lancé en 2018 auprès des laboratoires afin de faire remonter des idées d’actions et d’événements organisés en 2019. Ce « Tour du CNRS » ne se fera ni en 80 jours ni en 80 projets puisque les résultats ont largement dépassé les espérances. Fin janvier, plus de 300 projets déposés à travers la France et à l’étranger



avaient déjà été sélectionnés et labellisés. Avec, à la clé, de nombreux événements de proximité, fédérateurs au sein des laboratoires... et autant d'occasions d'inviter les élus locaux à venir sur place découvrir les travaux de nos scientifiques.

Les laboratoires mobilisés

Perché à 2 877 mètres d'altitude, l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) sera de la partie, ouvrant ses portes et ses laboratoires au grand public en septembre, dans le cadre des journées du patrimoine. « *Qu'est-ce que le pic du Midi ? Quelle est son histoire ? Quelles activités de recherche y sont menées ? Comment cet observatoire fut sauvé au début des années 2000 ? Nous organisons, pour les 80 ans, une journée de rencontre pour (re)découvrir ce lieu de recherche atypique* », résume Sylvie Etcheverry, chargée de communication de l'OMP. Au menu, des tables rondes en petit comité, la visite du musée et des laboratoires de recherche ou encore... le frisson du « pas dans le vide », suscité par un belvédère suspendu.

De son côté, le projet Punk is not dead (Pind) retrace l'histoire de la scène punk de 1976 à nos jours, porté par Solveig Serre, chargée de recherche au Centre d'études

supérieures de la Renaissance², et Luc Robène, professeur à l'Université de Bordeaux. « *La connaissance du punk permet d'appréhender la société par ses marges, par les cultures alternatives. Et c'est un enjeu considérable pour la contre-culture punk, notamment pour sauvegarder une mémoire particulièrement vulnérable* », explique Solveig Serre. Des manifestations (rencontres, spectacles, échanges, réflexions et débats) sont prévues toute l'année à Montpellier, Biarritz, Dijon, Issy-les-Moulineaux ou encore à Marseille.

Tourné vers l'avenir

Autre projet, autre ambiance sonore : dans le cadre de la Journée nationale de l'audition, le 12 mars, Denis Lancelin, ingénieur au Laboratoire des systèmes perceptifs³ et directeur de l'harmonie La Renaissance, organise au Théâtre Traversière, à Paris, une soirée de musique et de conférences sur le thème de « la santé de nos oreilles ». « *En plus d'informer les gens sur les risques auditifs et les avancées de la recherche, quoi de mieux que de conclure cette soirée d'échanges par un concert de musique classique et autres musiques de films !* », s'enthousiasme-t-il.

Des événements auront également lieu dans les écoles, sur Internet ou encore à l'étranger. Ainsi, le projet Lab'Oratoires verra 80 chercheurs aller au contact de lycéens d'Île-de-France. Les internautes pourront visiter virtuellement Coriolis, plus grande plateforme tournante au monde dédiée à la mécanique des fluides. Et l'exposition itinérante sur les macaques japonais, les « Saru », fruit d'une collaboration entre un photographe et deux primatologues français, arrivera en juillet à Tokyo, à la Maison franco-japonaise. Le point d'orgue de ces rendez-vous avec le grand public aura lieu en octobre, avec la 7^e édition du Forum du CNRS. Organisé à Paris et ouvert à tous, il sera aussi l'occasion de montrer comment les scientifiques travaillent au monde de demain.

Changement climatique, érosion de la biodiversité, avènement annoncé de l'intelligence artificielle... les attentes de la société envers les scientifiques n'ont jamais semblé aussi grandes et les défis posés à la recherche aussi gigantesques. 80 ans après sa création, le CNRS est bien décidé à les relever, comme l'affirme Antoine Petit : « *Nos connaissances doivent continuer à bâtir de nouveaux mondes, plus durables, plus justes, plus ouverts, plus tolérants. Grâce à l'action de tous ceux qui ont précédé et de ceux qui la poursuivent, nous allons continuer à faire rayonner le CNRS à travers la France, l'Europe et le monde* ». ■ A.-S. B.

Depuis fin janvier, les voyageurs qui transitent par la station Montparnasse-Bienvenue de la RATP découvrent les recherches du CNRS en images grâce à une fresque géante.



1. Lire aussi les témoignages internationaux sur 80ans.cnrs.fr/wall-of-fame.
2. Unité CNRS/Ministère de la Culture/Université de Tours. 3. Unité CNRS/École normale supérieure/PSL Université.

À l'IBPC, les chercheurs équipés de lunettes 3D visualisent sur un écran géant un brin d'ADN préalablement observé au microscope et modélisé.

Là où est né le CNRS

En 1927, le physicien Jean Perrin crée l'Institut de biologie physico-chimique, un établissement pluridisciplinaire, où les scientifiques peuvent se consacrer à plein temps à leurs recherches. Une première en France qui ouvrira la voie au CNRS ! Visite guidée dans les locaux d'un précurseur.

C'est une petite salle rectangulaire située au sous-sol de l'Institut de biologie physico-chimique (IBPC)¹ de Paris. Les murs sont peints en noir, sauf un, entièrement recouvert d'écrans de télévision. Des molécules géantes, des cellules, des brins d'ADN apparaissent soudain sur ce mur d'images. Les scientifiques présents dans la salle chaussent leurs lunettes 3D puis, comme dans un film de science-fiction, ils font tourner les molécules sur elles-mêmes, zooment presque à l'infini sur la partie qui les intéresse, pénètrent à l'intérieur de la cellule...

« Les chercheurs des cinq unités de recherche de l'IBPC ont accès à cet outil, explique Bruno Miroux, directeur de l'Institut depuis janvier 2019. Qu'ils travaillent sur la manière dont les plantes captent l'énergie solaire lors de la photosynthèse, sur l'expression des gènes chez les micro-organismes ou encore sur les molécules géantes que l'on trouve dans les membranes des cellules, ils peuvent venir ici visualiser ce que leurs microscopes ont observé et ce que leurs ordinateurs ont modélisé à partir d'expériences de diffraction de cristaux, de résonance magnétique nucléaire ou de spectrométrie de masse. Voir l'infiniment petit sur écran géant permet d'avoir un point de vue différent. Et le fait que plusieurs chercheurs voient la même chose en même temps fait de ce mur un instrument d'analyse collective... »

L'interdisciplinarité sur 3 500 m² ultramodernes

Une technologie moderne et le partage des idées : deux valeurs que recherchait déjà le physicien Jean Perrin lorsqu'il créa l'institut en 1927. À l'époque, la recherche scientifique française était mal en point. D'une part, les différents domaines d'étude étaient hermétiquement cloisonnés : mathématiciens, physiciens, chimistes et



© PHOTO CHEVON/IBPC

Dans les années 1960, l'IBPC s'équipe de matériel de pointe pour l'étude de la photosynthèse.



© ANDRUSIEBRIDGEMAN IMAGES

Le banquier Edmond de Rothschild (1845-1934), a financé la construction de l'IBPC ainsi que son fonctionnement et les salaires.

biologistes travaillaient chacun dans leur coin. D'autre part, rares étaient les savants qui pouvaient se consacrer entièrement à la recherche : ils devaient souvent donner des cours à l'université, dans des établissements sclérosés par le mandarinat et peu au fait des dernières découvertes scientifiques.

« La création de l'IBPC est le fruit d'une rencontre, explique l'historien Denis Guthleben (lire aussi p.21). Jean Perrin, auréolé du prix Nobel de physique en 1926, a un projet d'institut d'avant-garde : réunir sous un même toit des biologistes, des physiciens et des chimistes afin qu'ils étudient les bases physico-chimiques de la vie. L'interdisciplinarité avant l'heure ! L'État français n'ayant pas les moyens de financer ce genre de projet, Perrin se tourne vers Edmond de Rothschild, qui a créé en 1921 une fondation pour venir en aide aux savants, dans un pays ruiné par la Grande Guerre. » Le banquier, âgé, a connu dans sa jeunesse Louis Pasteur et Claude Bernard : convaincu que la recherche fondamentale en biologie participe au progrès économique de la France, il accepte de financer le projet. Il fait un don spécial pour

la construction de l'Institut et crée une seconde fondation au capital de 30 millions de francs (17 millions d'euros actuels) pour le financement de son fonctionnement et des salaires.

L'emplacement choisi pour le futur institut se situe sur la montagne Saint-Geneviève, à Paris, sur une friche achetée en 1906 à une congrégation religieuse et destinée à devenir un haut lieu de la science : l'École de chimie de Paris, l'Institut du Radium de Marie Curie, l'Institut de mathématiques Poincaré ou encore les instituts d'océanographie et de géographie y seront construits. En trois ans, un magnifique bâtiment Art déco en brique rouge sort de terre, avec 3 500 m² de laboratoires lumineux, un réseau de téléphonie, le chauffage central, un système antivibrations, un générateur de rayons X, des canalisations d'air comprimé, une animalerie et des serres, des salles d'opération, sans oublier un atelier au sous-sol pour la fabrication de matériel.

Des savants aux chercheurs

Lorsqu'il est inauguré le 22 décembre 1930, l'IBPC est considéré comme l'institut le plus moderne de France. Et pas seulement pour ses locaux : son fonctionnement l'est tout autant. Tout d'abord, ce sont les scientifiques eux-mêmes qui le dirigent : le premier quatuor de direction est constitué de Jean Perrin pour la physique, de Georges Urbain pour la chimie, d'André Mayer pour la biologie et du chimiste Pierre Girard, qui en devient l'administrateur. Ensuite, la Fondation Edmond de Rothschild rémunère les scientifiques pour qu'ils consacrent tout leur temps à la recherche fondamentale : elle devient un métier à part entière. « Pour qualifier ces femmes et ces hommes employés à plein temps devant leurs paillasses, note Denis Guthleben, un nouveau mot s'impose peu à peu dans l'usage courant : on ne parle plus de "savants", mais de "chercheurs". » Enfin, l'accent est mis sur la recherche collective : tous les mardis à 14 heures, le personnel est invité dans la grande bibliothèque pour y discuter de ses travaux ou pour écouter des causeries scientifiques. Neuf ans plus tard, lorsque Jean Perrin participera à la création du CNRS et en deviendra le tout premier directeur, il se souviendra de son expérience à l'IBPC...

Car le système fonctionne à merveille : l'Institut attire de brillants scientifiques, qui y effectuent des recherches novatrices. Grâce à un système de diffraction des rayons X à grande puissance, Georges Champetier décrit la structure de la cellulose, principal constituant de la paroi des cellules végétales, et Emmanuel Fauré-Frémiet celle du collagène, protéine fibreuse qui donne résistance et élasticité à la peau et aux muscles. Pour séparer ces différentes molécules géantes, Nine Choucroun développe l'électrophorèse – les macromolécules migrent à des vitesses différentes lorsqu'elles sont soumises à un ...

1. Unité CNRS/Sorbonne Université/Université Paris-Diderot.

... champ électrique – et Edgar Lederer la chromatographie. À la frontière entre la physique et la biologie, René Wurmser démontre que l'événement fondamental de la photosynthèse est la décomposition d'une molécule d'eau sous l'effet de la lumière. Et, à la frontière entre la chimie et la biologie, Eugène Aubel étudie les réactions d'oxydo-réduction dans le métabolisme des cellules.

Transfert de responsabilités

Après la Seconde Guerre mondiale, l'IBPC prend le virage de la biologie moléculaire, qui étudie le fonctionnement des cellules à partir de ses molécules, comme l'ADN et l'ARN. L'une des figures les plus marquantes est alors Boris Ephrussi. Brillant biologiste d'origine russe, il étudie les mutations génétiques de la levure et, avec son élève Piotr Slonimski, observe que certaines mutations ne suivent pas les lois de la transmission génétique définies par Gregor Mendel au XIX^e siècle, ouvrant ainsi les portes de la génétique non-mendélienne.

Bien sûr, au fil des décennies, l'IBPC ne cesse d'évoluer. De l'établissement d'origine, il ne reste aujourd'hui que le bâtiment en brique rouge, le hall d'entrée avec ses luminaires et son carrelage Art déco, l'immense bibliothèque à gauche du hall, où se tenaient les causeries, et la petite salle des Tétrarques, où se réunissaient les quatre membres de la première direction. Tout le reste a été modernisé, y compris le mode de fonctionnement de l'Institut : à la fin des années 1940, le salaire d'une partie du personnel est pris en charge par le CNRS puis, en 1965,

“À la fin des années 1940, le salaire d'une partie du personnel de l'IBPC est pris en charge par le CNRS puis, en 1965, les laboratoires deviennent des unités associées de ce dernier.”

les laboratoires deviennent des unités associées du CNRS. La Fondation de Rothschild se désengage peu à peu jusqu'à céder, en 1997, les bâtiments au CNRS pour une durée de cinquante ans. Ce qui lui transfère la responsabilité scientifique et administrative de l'établissement.

« C'est moi qui ai géré la transition, se souvient Pierre Joliot, mémoire vivante de l'Institut. En 1997, j'en ai été le dernier administrateur avant d'en devenir le premier directeur. »

Dans un petit laboratoire du sous-sol, l'éminent biologiste de 86 ans, Médaille d'or du CNRS en 1982, continue de faire des recherches sur la photosynthèse des algues microscopiques, juste pour le plaisir. « Je suis entré à l'IBPC il y a soixante-six ans et j'y ai occupé tous les postes : de stagiaire non rémunéré jusqu'à retraité actif. J'ai toujours aimé la liberté de recherche qui y régnait : les chefs de service ont une grande indépendance. Et, bien que j'y aie croisé de fortes personnalités, je n'ai jamais connu de gros conflits. »

Une identité intacte

À la tête de l'Institut de 2007 à 2018, Francis-André Wollman l'a fait entrer dans le XXI^e siècle : « En 2011, nous avons obtenu le label "Laboratoire d'Excellence". » Créés par l'État, les LabEx visent à renforcer le potentiel scientifique des meilleurs laboratoires français en leur permettant de recruter des chercheurs et d'investir dans des équipements innovants, afin de favoriser l'émergence de projets scientifiques ambitieux et visibles à l'échelle internationale. « En collaboration avec deux laboratoires du Collège de France et de l'École normale supérieure, nous avons développé le LabEx Dynamo, doté de 10 millions d'euros, afin d'étudier la dynamique des membranes transductrices d'énergie. »

Tourné vers l'avenir, l'IBPC n'en conserve pas moins son identité, héritée de sa longue histoire. « Nous avons actuellement 200 chercheurs, ingénieurs, techniciens, post-doctorants et étudiants, explique Francis-André Wollman. Mais, alors que la tendance est au regroupement de laboratoires en grandes unités de recherche pour faire des économies d'échelle, nous tenons à conserver cinq petits laboratoires autonomes. D'abord, cela nous évite de perdre du temps en réunions d'arbitrage, lors de la répartition des budgets. Ensuite, cela laisse une grande autonomie et une grande liberté aux laboratoires, condition essentielle selon nous à l'épanouissement de la recherche. » **|| P. N.**



À l'IBPC, Sandrine Bujaldon et Quentin Lonné perpétuent l'étude de la photosynthèse sur des microalgues et des cyanobactéries.



1932, à Meudon-Bellevue :
des expériences sur la
résistance des caoutchoucs
sont menées au Laboratoire
de chimie et du caoutchouc.

© FONDOS HISTORIQUES/CNRS PHOTO THÈQUE

Des savants pour la République

Tout au long de l'année, l'historien Denis Guthleben, nous fait remonter le temps à travers l'histoire du CNRS. Dans ce premier épisode, retour sur la genèse et les vingt premières années de l'organisme.

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



© N. LAMBERT/CNRS IMAGES

Alors que nous célébrons ses 80 ans, on oublie parfois que le CNRS, le plus grand organisme public de recherche en Europe, a vu le jour en toute discrétion. Il faut reconnaître que le contexte n'était pas à la fête lorsque le président Albert Lebrun a signé son décret fondateur, le 19 octobre 1939 : dans cette France qui venait d'entrer en guerre contre le III^e Reich et d'assister à l'écrasement de la Pologne, l'initiative est presque passée inaperçue ! D'ailleurs les circonstances ont souvent été invoquées comme justification : le CNRS devait avant tout veiller, selon le décret, à « *la mobilisation scientifique* » du pays. Mais se contenter de cette explication conduit à omettre l'essentiel. Car si le CNRS est né en sourdine dans un monde en guerre, il est surtout le fruit d'une longue genèse, dont il faut dire un mot.

Bien avant 1939, il y a eu 1870. La défaite face à la Prusse de Guillaume I^{er} et de Bismarck rassemble les savants français autour d'un constat : le pays n'a pas été battu sur les champs de bataille, mais devant les paillasses. Il n'y a aucun doute pour Louis Pasteur : « *la faiblesse de notre organisation scientifique* » est la cause des « *malheurs de la patrie* »¹. De ce constat découlent, dès les débuts de la Troisième République, plusieurs réformes de l'enseignement supérieur, une hausse des budgets des facultés et des établissements – le Collège de France, le Muséum national d'histoire naturelle, etc. – et des initiatives prises par les savants eux-mêmes, dont la création de l'Institut Pasteur en 1888, l'un des exemples les plus notoires.

Et l'organisation scientifique ? Elle peine à s'établir, malgré quelques tentatives : en 1901, une Caisse des recherches scientifiques est instituée, mais son budget ...

1. *Quelques réflexions sur la science en France*, Louis Pasteur, Gauthier-Villars, 1871.



Jean Perrin et Jean Zay sont les pères fondateurs du CNRS. En 1936, Léon Blum les nomme respectivement sous-secrétaire d'État à la recherche scientifique et ministre de l'Éducation nationale.

... est famélique². Le député Edmé Bourgoïn, pourtant professeur de médecine, avait averti ses confrères de la Chambre : « *Ceux qui veulent se livrer à des recherches ne doivent pas tendre la main à l'État...* » Même après avoir répondu à l'appel de la Nation pendant la Grande Guerre³, les savants retournent ainsi à leur misère en 1918. Le mot n'est-il pas abusif ? Peut-être, mais le fait est qu'il revient sans cesse dans les archives, et apparaît jusque sous la plume de Maurice Barrès : « *la misère de nos laboratoires est quelque chose de prodigieux* », elle est « *indigne de la France, indigne de la science* », déplore l'écrivain nationaliste dans un ouvrage paru en 1925⁴.

Science recherche organisation

L'année suivante, le physicien Jean Perrin obtient le prix Nobel « *pour ses travaux sur la discontinuité de matière* ». Avec le soutien d'une fondation créée par le banquier Edmond de Rothschild, il lance en 1927 un laboratoire de pointe : l'Institut de biologie physico-chimique (IBPC) (lire aussi p. 18). Entre ses murs œuvrent des « chercheurs » dont la seule mission est de percer, comme l'a annoncé Jean Perrin, « *les secrets les plus dissimulés de la Nature* ». En outre, l'IBPC, qui regroupe physiciens, chimistes et biologistes, doit réunir les disciplines et favoriser leur fécondation réciproque. Il s'agit d'un institut « interdisciplinaire » avant même que le mot ne fasse son apparition !

La formule, un formidable succès, ne tarde pas à soulever une question : pourquoi ne pas l'élargir à l'ensemble du pays ? Jean Perrin en fera sa croisade pendant une décennie. Il obtient d'abord, du gouvernement Herriot, la création d'une Caisse nationale des sciences en 1930 – rebaptisée Caisse nationale de la recherche scientifique, la CNRS, en 1935. Le physicien pousse ensuite le gouvernement Daladier à établir, en 1933, un Conseil supérieur de la recherche, destiné à donner les orientations d'une politique scientifique en gestation.

L'année 1936 pose un jalon. Les élections législatives voient la victoire des partis du Front populaire. Léon Blum compose son gouvernement et désigne, à

1950, des manipulations de séparation par échanges d'ions sont effectuées au Laboratoire terres rares, installé sur le campus du CNRS de Meudon-Bellevue.



l'Éducation nationale, un député de 32 ans, Jean Zay. À ses côtés, un sous-secrétariat d'État à la recherche scientifique est prévu, une première dans notre histoire ! Irène Joliot-Curie y est tout d'abord désignée, mais elle renonce vite à ses fonctions. Jean Perrin la remplace dès septembre : « *Ce sous-secrétaire d'État septuagénaire et glorieux déploya aussitôt la fougue d'un jeune homme, l'enthousiasme d'un débutant, non pour les honneurs, mais pour les moyens d'action qu'ils fournissaient* », note Jean Zay dans ses mémoires⁵.

Pendant quelques mois, les réalisations se succèdent. Un Service central de la recherche est inauguré au ministère. Les budgets de la CNRS, en forte hausse, lui permettent de construire plusieurs instituts – d'astrophysique de Paris (IAP), de recherche et d'histoire des textes (IRHT)... Une organisation bien huilée se met en

“En 1936, les réalisations se succèdent pendant quelques mois, mais la chute du gouvernement Blum et les tensions internationales retardent la création du CNRS qui ne voit le jour qu'en 1939.”

place : le Conseil délibère et propose, le Service décide et exécute, la Caisse finance. Déjà, l'opportunité de les regrouper dans un « centre unique » est évoquée, mais la chute du gouvernement Blum et les tensions sur la scène internationale retardent sa création : le CNRS, enfant posthume du Front populaire, ne voit le jour qu'en 1939. En somme, si la guerre lui a donné un

coup de pouce, elle ne forme que l'écume de la genèse d'un organisme qui doit surtout « provoquer, coordonner et encourager les recherches de science pure ou appliquée » à travers le pays.

Mobilisé, occupé, libéré

Mais la guerre est bel et bien là, et le CNRS subit, à partir de mai 1940, la débâcle puis l'Occupation. Confronté aux pénuries, isolé de la recherche internationale, il endure le pillage de son matériel par l'Allemagne nazie. Premières victimes de ce dénuement, ses personnels paient aussi un lourd tribut aux mesures d'exclusion : les lois anti-juives privent les laboratoires de nombreux chercheurs et techniciens, frappés dans leur activité, voire dans leur existence elle-même. Sans faire le catalogue des destins individuels, il suffit de rappeler le sort de ses deux fondateurs : Jean Perrin s'éteint en exil à New York le 17 avril 1942 ; Jean Zay, lui, est emprisonné par cet « État français » qui siège à Vichy, et ne voit sa captivité prendre fin, le 20 juin 1944, que pour être lâchement assassiné par la Milice. Les deux hommes sont aujourd'hui réunis au Panthéon : Jean Perrin qui y repose depuis 1948 y a été rejoint par Jean Zay en 2015. Le CNRS peut ainsi se prévaloir d'être le seul établissement de recherche dont les pères reposent dans le temple de la Nation...

À la Libération, il voit arriver à sa tête des personnalités soucieuses de rompre avec les pratiques autoritaires de Vichy. Frédéric Joliot-Curie, de 1944 à 1946, puis Georges Teissier, jusqu'en 1950, entendent associer les scientifiques à la définition des enjeux de la recherche, et plaident en faveur de la création d'un « Parlement de la science ». Le chimiste Henri Moureu, qui participe à cette renaissance, ne s'y trompe pas : « Vous pensez en somme nous mettre en république ! »⁶ C'est bien un projet de « république des savants » qui se forme alors, et se concrétise en 1945 au travers de la création du « Comité national de la recherche scientifique », une instance promise à un bel avenir.

Passé la période de l'immédiat après-guerre, le CNRS connaît une croissance régulière. Il crée des formations, en Île-de-France et de plus en plus en province – à Grenoble, à Marseille, à Strasbourg, à Toulouse... Il inaugure aussi ses premiers campus : après celui de Meudon-Bellevue, où il s'est installé dès 1939 à la suite d'un Office national des recherches scientifiques et indus-

trielles et des inventions⁷, le premier à voir le jour est celui de Gif-sur-Yvette, en 1946, pour encourager notamment la génétique, un champ de recherche que l'Université peine à accueillir.

L'Université ? On l'avait presque oubliée, tant elle et le CNRS ont suivi des chemins distincts ! En accueillant le troisième cycle d'études supérieures en 1954, en investissant dans ses laboratoires, en se plaçant au centre des débats du colloque sur l'enseignement et la recherche scientifique, organisé à Caen en 1956 sous le patronage de Pierre Mendès France, elle entreprend une grande rénovation. Longtemps critiquée pour ses carences en matière de recherche, elle en devient un acteur à part entière. Un défi se pose alors : comment conjuguer les efforts de cette vieille dame en pleine cure de jouvence et ceux du jeune et séillant CNRS ? Ce sera l'un des enjeux majeurs des années 1960... II D. G.

80 ans du CNRS : demandez le programme !

Retrouvez toute l'actualité des célébrations sur le site dédié aux 80 ans du CNRS. Au menu : tous les événements du « Tour du CNRS en 80 jours » organisés en France et à l'étranger, un « Wall of fame » sur lequel des personnalités de la recherche mondiale livrent en vidéo leur témoignage sur l'organisme français ainsi que de nombreuses ressources telles que la conférence de l'historien Denis Guthleben, filmée le 1^{er} février à la Maison de la Mutualité ou un clip de 2 minutes sur l'histoire du CNRS. À découvrir également sur le site : la fresque exposée dans le couloir de la station de métro Montparnasse-Bienvenue.

» 80ans.cnrs.fr

2. *La Science au Parlement : les débuts d'une politique des recherches scientifiques en France*, Michel Pinault, CNRS Éditions, 2006, p. 15. 3. « La science, entre tranchées et paillasses », Denis Guthleben, *CNRS Le Journal*, n° 275, p. 26. 4. *Pour la haute Intelligence française*, Maurice Barrès, Plon, 1925, p. 64. 5. *Souvenirs et Solitude*, Jean Zay, Belin, 2011, p. 312. 6. Procès-verbal de la réunion des comités directeurs du CNRS, 18 septembre 1944, Archives nationales. 7. *Rêves de savants. Étonnantes inventions de l'entre-deux-guerres*, Denis Guthleben, Armand Colin, 2011.

Mémoires de glace

TERRE

Géologie. Constituer une banque mondiale d'archives glaciaires stockées en Antarctique : c'est l'objectif un peu fou du programme Ice Memory, lancé en 2015 à l'initiative des glaciologues Jérôme Chappellaz et Patrick Ginot. Il faut faire vite : partout sur la planète, les glaciers fondent sous l'effet du réchauffement climatique, emportant avec eux de précieuses informations sur les climats du passé. Zoom sur les missions déjà réalisées dans le massif du Mont-Blanc, en Bolivie et en Russie.

TEXTE LAURE CAILLOCE

PHOTOS BRUNO JOURDAIN/LGGE/CNRS PHOTOTHÈQUE ; SARAH DEL BEN/WILD TOUCH/FONDATION UGA





1. La Première mission a été conduite en août 2016 au pied du Mont-Blanc, sur le glacier du col du Dôme, situé à 4 300 mètres d'altitude. Depuis 1850, les glaciers alpins ont perdu 50 % de leur masse.



2



3

2. En se formant, la glace emprisonne les différents composants chimiques de l'atmosphère : gaz, acides, métaux lourds, radioactivité, isotopes de l'eau... C'est une source d'information inestimable pour retracer notre passé climatique.

3. Tube d'un carottier, avant extraction de la carotte de glace. Trois carottes de 130 mètres de long ont été prélevées au pied du Mont-Blanc, soit l'épaisseur du glacier jusqu'au socle rocheux.



4

4. Une deuxième expédition a été conduite en Bolivie au printemps 2017, sur le glacier de l'Ilhmani. Tout le matériel, soit plus de 2 tonnes, a été porté à dos d'homme jusqu'au site de forage, situé à 6 300 mètres d'altitude.



© PHOTOS: BRUNO JOURDAIN/L'EGE/CNRS PHOTO THÈQUE

5. Mesures radar pour cartographier l'épaisseur de glace autour du site de forage de l'Ilhimani. Malgré les conditions climatiques difficiles, deux carottes de glace de plus de 130 mètres ont été prélevées.

6. La dernière opération de forage (à ce jour) a été menée en Russie durant l'été 2018 sur le glacier de l'Elbrouz, dans les montagnes du Caucase. Elle fait suite à une première expédition conduite au printemps 2018 sur le glacier Belukha, au cœur du massif de l'Altai.





© PHOTO 5: BRUNO JOURD'HAU/L'ESPRESSO PHOTO THÈQUE, PHOTOS 6-7: SARAH DEL BENVILIO/TOLICH/FONDATION IUGA



7

7. À chaque expédition, l'une des carottes prélevées est destinée à être analysée. Les autres rejoindront la base Concordia en Antarctique, où elles seront enfouies à 10 mètres de profondeur.



Cet article a été publié dans la revue *Carnets de science* #5

Edith Heard ou la *révolution épigénétique*

Entretien. Chacune de nos cellules contient l'intégralité de notre code génétique. Pourtant, certaines deviennent des cellules de peau, de muscle ou des neurones ! C'est le tour de force de l'épigénétique. Rencontre avec Edith Heard, spécialiste mondiale de la discipline, qui a pris, en janvier, la direction du prestigieux European Molecular Biology Laboratory, à Heidelberg.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURE CAILLOCE

C'est une discipline en plein boom depuis le début des années 2000 et qui fait couler beaucoup d'encre de par les espoirs, mais aussi les fantasmes, qu'elle suscite. L'épigénétique participe à la régulation de l'expression de nos gènes, via les marques épigénétiques.

Ces modifications chimiques de l'ADN aident les cellules de notre corps à acquérir leur identité au cours du développement et, surtout, à la conserver. Mais elles sont aussi réversibles, ce qui ouvre des perspectives pour la guérison de certaines maladies impliquant notre épigénome. Spécialiste mondialement reconnue de l'épigénétique, la biologiste Edith Heard a pris en janvier la direction du prestigieux European Molecular Biology Laboratory (EMBL), organisme intergouvernemental de recherche impliquant 29 pays. Elle nous en dit plus sur ses travaux et ses nouvelles fonctions.

D'où vient ce terme d'épigénétique ?

Edith Heard : Il a été inventé en 1942 par le biologiste britannique Conrad Waddington pour réconcilier le monde de la génétique (les gènes ont été découverts au début du XX^e siècle) et celui de l'embryologie. Les généticiens s'occupaient de l'hérédité et des traits transmis aux générations suivantes, tandis que les embryologistes se posaient la question de leur mise en place lors du développement. Waddington voulait créer une nouvelle discipline qui réunirait ces questions d'embryogenèse ...



Repères

1965	Naissance à Londres
1983-1986	Études de génétique à Cambridge
1986-1990	Thèse sur le cancer à l'Imperial Cancer Research Fund (Londres)
1993	Entrée au CNRS, au sein de l'Institut Pasteur
2008-2018	Codirectrice, puis directrice du département de génétique et de biologie du développement de l'Institut Curie
2008	Médaille d'argent du CNRS
2012	Professeure au Collège de France, chaire « Épигénétique et mémoire cellulaire »
Janvier 2019	Directrice de l'European Molecular Biology Laboratory

... (aussi appelée épigénèse depuis le XVII^e siècle) et de génétique. Le terme épigénétique rassemble ces deux mots : épigénèse et génétique. La notion a ensuite évolué. Depuis l'apparition du terme, on a découvert l'ADN et on a constaté, avec une certaine incrédulité au début, que toutes les cellules de notre corps avaient le même ADN que dans l'œuf fécondé. Rien à voir pourtant entre une cellule du foie, de muscle ou un neurone, par exemple. Puisque l'intégralité du code ADN est conservée dans les cellules, la question des scientifiques est donc devenue : comment les cellules acquièrent-elles leur identité propre, et comment celle-ci se maintient-elle au cours des divisions cellulaires ? C'est là que nous arrivons à la définition moderne, actuelle, de l'épigénétique.

Et quelle est cette définition ?

E. H. : L'épigénétique désigne tout changement d'expression des gènes qui n'implique pas de changement dans la séquence ADN, qui est stable mais demeure réversible. On le sait aujourd'hui, les cellules acquièrent leur identité, et elles la conservent, grâce aux marques épigénétiques : des modifications chimiques de l'ADN qui n'altèrent en aucun cas la séquence de l'ADN, mais permettent de lire certains gènes et d'autres pas. L'épigénétique, c'est donc une sorte de mémoire cellulaire, transmissible aux générations suivantes de cellules. Mais c'est une mémoire qui peut s'effacer, d'où le terme de réversibilité. Un chercheur nommé Peter Jones en a fait par hasard l'expérience au début des années 1980. Il cultivait dans une boîte de Petri des cellules de la peau (fibroblastes) de souris, auxquelles il avait ajouté une molécule, 5-azacytidine. Quelques jours plus tard, surprise : des cellules étaient apparues dans

D'où l'idée, lue ici et là, que l'épigénétique met fin au règne du « tout-génome », ce déterminisme implacable imposé par notre code génétique ?

E. H. : C'est une idée séduisante, mais en partie fautive : car c'est bien le code génétique qui décide de lire ou de ne pas lire certains gènes, grâce aux protéines appelées « facteurs de transcription » ! La machinerie épigénétique arrive juste après : les marques épigénétiques qui viennent s'accoler aux gènes ont pour mission de figer ce choix et de le maintenir au fil des divisions cellulaires.

Qu'est-ce qui vous a amenée à vous intéresser à l'épigénétique, vous qui avez une formation de généticienne pure et dure ?

E. H. : Après mes études à Cambridge, j'ai fait ma thèse sur le cancer, au sein de l'Imperial Cancer Research Fund, à Londres. Je voulais savoir pourquoi dans certaines cellules cancéreuses, certaines parties du génome étaient amplifiées, c'est-à-dire qu'il existait plusieurs copies des mêmes gènes. Pour regarder le génome, on le coupait avec des enzymes de restriction provenant de bactéries, mais cela ne marchait pas quand il y avait des marques épigénétiques. C'est comme cela que je me suis intéressée à l'épigénétique, pour des raisons purement techniques ! J'ai trouvé cet article de Peter Jones et j'ai commandé la molécule 5-azacytidine, pour me débarrasser des marques épigénétiques et pouvoir découper le génome à ma guise. C'est ainsi que je suis tombée dans le monde des modifications chimiques, via les manipulations.

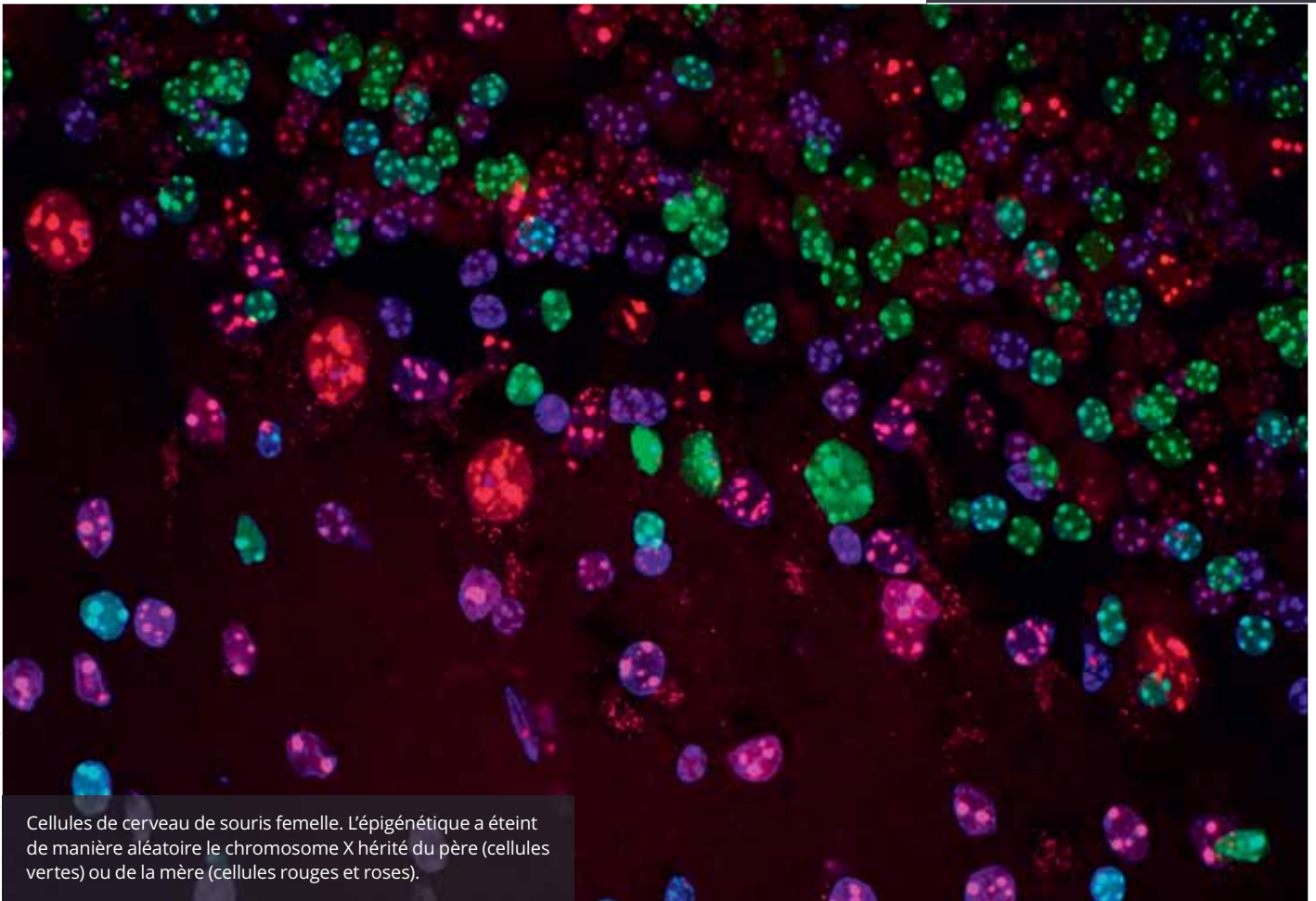
Vous parlez de la spécialisation des cellules en cellules de peau, de muscle, etc. À l'inverse, des cellules du corps peuvent redevenir des cellules souches après effacement des marques épigénétiques, comme l'a démontré Shinya Yamanaka, Prix Nobel de médecine en 2012...

E. H. : C'est la preuve absolue que le code génétique est intégralement conservé dans les cellules somatiques (les cellules de notre corps, NDLR) ! Pour autant, ce changement ne se fait pas en un claquement de doigts. Même si on utilise les produits adéquats, il faut trois semaines pour effacer les marques épigénétiques portées sur l'ADN des cellules de peau et obtenir des cellules pluripotentes induites (IPS), semblables aux cellules souches embryonnaires. Les marques épigénétiques font pour ainsi dire de la résistance. C'est ce que j'appelle la « barrière épigénétique », la barrière au changement d'identité de nos cellules qui protège les phénotypes (l'apparence) des êtres multicellulaires que nous sommes.

L'épigénétique suscite beaucoup de fantasmes. Les notions de réversibilité et d'héritabilité, notamment, donnent lieu à bon nombre

“L'épigénétique désigne tout changement d'expression des gènes qui n'implique pas de changement dans la séquence ADN, qui est stable mais demeure réversible.”

la culture, qui avaient un tout autre aspect... Il a d'abord cru à une contamination de son échantillon par des champignons, mais il s'agissait en réalité de myotubes, des cellules musculaires. La molécule 5-azacytidine avait effacé les marques épigénétiques des cellules embryonnaires et reprogrammé celles-ci en cellules de muscle !



Cellules de cerveau de souris femelle. L'épigénétique a éteint de manière aléatoire le chromosome X hérité du père (cellules vertes) ou de la mère (cellules rouges et roses).

d'interprétations. Les marques épigénétiques pourraient être influencées par notre environnement – l'alimentation, l'air que nous respirons, le stress que nous subissons – et être transmissibles à nos enfants et à nos petits-enfants... Quelle est votre position de chercheuse sur cette question ?

E. H. : J'imagine que vous faites référence à cette étude conduite par des épidémiologistes sur les conséquences de la famine vécue aux Pays-Bas durant la Seconde Guerre mondiale. Les enfants, et peut-être les petits-enfants, des femmes enceintes qui, à l'époque, avaient passé plusieurs semaines à ingérer quelques centaines de calories par jour seulement, auraient aujourd'hui des problèmes de santé liés à un métabolisme dysfonctionnel. La faute, selon cette étude, à des changements intervenus dans les modifications épigénétiques du fait de la malnutrition, qui auraient été transmis aux enfants, puis aux petits-enfants de ces femmes dénutries. Autre exemple : certaines personnes vont jusqu'à affirmer que le stress subi par les survivants de la Shoah se serait transmis aux générations suivantes via les marques épigénétiques. Mais il n'y a à ce jour aucune preuve solide de cela au niveau de la biologie moléculaire. Et l'on sait tous que le comportemental, la façon dont on tisse des liens avec nos descendants, est un puissant vecteur de transmission. Tous ces fantasmes autour de l'épigénétique sont à la fois stimulants pour les chercheurs, car ils montrent l'intérêt de la société

pour nos travaux, et handicapants, car ils induisent des attentes auxquelles nous ne pouvons pas toujours répondre et qui pourraient créer de la frustration par rapport à notre discipline. Aujourd'hui, la science en est toujours à établir les bases moléculaires de l'épigénétique. C'est du 100 % fondamental.

On entend pourtant régulièrement parler d'« épidrogues », qui aideraient à la guérison de certains cancers. Qu'en est-il ?

E. H. : Dans tous les cancers, on remarque que la distribution des modifications épigénétiques est anormale. Pendant longtemps, il a même été postulé que les gènes impliqués dans l'initiation d'une tumeur étaient modifiés épigénétiquement. D'où cet intérêt pour les épidrogues : ces molécules, connues depuis plusieurs dizaines d'années déjà (elles étaient utilisées en chimiothérapie avant même que l'on connaisse leur fonctionnement), agissent en effet sur les modifications épigénétiques, notamment sur la plus courante d'entre elles, la méthylation de l'ADN. Grâce au séquençage à haut débit des génomes de tumeurs, nous avons aujourd'hui compris que la plupart des tumeurs sont dues à des mutations affectant directement la séquence ADN des gènes dits « drivers », en anglais, c'est-à-dire conduisant à la formation d'une tumeur. La surprise, c'est que certaines de ces mutations affectent aussi les gènes impliqués dans les processus épigénétiques. Cela explique la généralisation des modifications épigénétiques dans les tumeurs. ...

“Contrairement au génome, qui a été entièrement décrypté, on ne connaît pas encore tout sur notre épigénome, en particulier dans le contexte du cancer.”

... Le problème, avec le cancer, c'est que rien n'est simple : le génome est modifié, avec des mutations de gènes, et l'épigénome est modifié aussi, sans que l'on sache si ces changements sont liés et dans quel sens ils opèrent. L'utilisation des épidrogues pose elle aussi des questions, car elles n'agissent pas de façon ciblée, sur un gène ou deux, mais sur l'ensemble des marques épigénétiques de l'individu, avec des conséquences que l'on ne maîtrise pas encore complètement. Voilà où on en est aujourd'hui, sur le cancer et l'épigénétique. Ce sont des recherches qui suscitent beaucoup d'espoir, mais qui n'avancent pas très vite. À nouveau, cela demande de faire énormément

de recherche fondamentale. Contrairement au génome, qui lui a été décrypté entièrement, on ne connaît pas encore tout sur notre épigénome, en particulier dans le contexte du cancer.

Vous êtes mondialement connue pour vos travaux sur l'inactivation du chromosome X. Pouvez-vous nous expliquer de quoi il s'agit ?

E. H. : Comme vous le savez, les mammifères femelles portent deux chromosomes X, hérités de chacun de leurs parents, tandis que les mâles ont un chromosome Y hérité de leur père et un chromosome X hérité de leur mère. Problème : le Y porte très peu de gènes, une centaine à peine qui sont importants pour les caractères sexués masculins, et le X plus d'un millier ! Pour compenser ce déséquilibre entre mâles et femelles, un processus de désactivation de l'un des deux chromosomes X s'est donc mis en place chez les femelles. C'est un programme 100 % épigénétique qui éteint un chromosome entier !

Les marques épigénétiques varient d'un individu à l'autre. Même les jumelles monozygotes (issues du même œuf) ne sont pas identiques de ce point de vue.



L'EMBL, au cœur de la biologie fondamentale

Quelles implications cette inactivation du chromosome X a-t-elle, concrètement ?

E. H. : Chez la plupart des mammifères, dont les humains, le choix du chromosome X à inactiver est totalement aléatoire d'une cellule à l'autre au cours du développement. Cela signifie que la femme est une véritable mosaïque pour l'expression des gènes du X. Dans chaque tissu (le cerveau, le sang, les reins, etc.), la proportion de cellules qui activent le X paternel par rapport au X maternel peut être différente, et varie également d'un individu à l'autre. Même les jumelles monozygotes (issues du même œuf) ne sont pas identiques de ce point de vue. Cela a des conséquences bien concrètes. On sait par exemple que des gènes portés par le chromosome X sont impliqués dans un certain nombre de maladies neurologiques. C'est le cas du syndrome de Rett, un syndrome d'autisme aigu qui compromet la survie des personnes qui en sont atteintes. Ce syndrome est dû à une mutation d'un gène du X : les garçons qui portent cette mutation meurent très jeunes, car leur cerveau fonctionne mal. Les filles, elles, réagissent différemment à la maladie selon la proportion de X mutés et de X sains exprimés dans leurs cellules. Aujourd'hui, mon espoir et celui de mon équipe est d'arriver à réactiver les gènes du X silencieux en jouant sur les marques épigénétiques, et d'aider un jour à la guérison de ces femmes. Mais la route est encore longue.

Depuis le 1^{er} janvier, vous êtes la nouvelle directrice générale de l'European Molecular Biology Laboratory (EMBL). Est-ce à dire que vous allez mettre vos recherches sur le X entre parenthèses ?

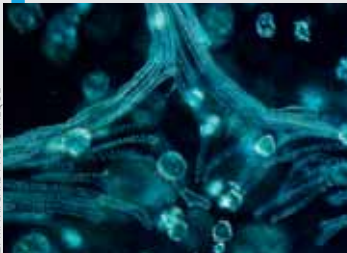
E. H. : Absolument pas. Je suis partie à Heidelberg, au siège de l'EMBL, avec six personnes de mon ancienne équipe de l'Institut Curie qui ont accepté de m'accompagner en Allemagne. En me sélectionnant pour prendre la tête de cet organisme, le comité a décidé de choisir un chercheur en pleine activité, qui va continuer à mener ses recherches pendant le temps de son mandat, qui est de cinq ans, renouvelable.

Pourquoi avoir accepté ce poste à l'EMBL ?

E. H. : Diriger cet organisme est bien sûr un honneur pour moi, et j'ai accepté pour trois raisons. Premièrement, l'EMBL se focalise sur la recherche fondamentale et l'excellence : c'est essentiel pour faire avancer les recherches en biologie. Ensuite, le poste a été proposé à une femme, et c'est important quand une opportunité de ce genre se présente de l'accepter ; si les femmes ne font pas cet effort, ...

Edith Heard a pris début janvier la tête de l'European Molecular Biology Laboratory (EMBL), un organisme intergouvernemental mis en place en 1974 pour soutenir la recherche en biologie moléculaire en Europe et pour garder les chercheurs sur le sol européen. Aujourd'hui, 29 pays y contribuent. Le rôle de l'EMBL est double : faire de la recherche fondamentale, grâce à ses 1700 chercheurs et à ses 6 instituts situés à Heidelberg, Barcelone, Hinxton, près de Cambridge, Rome, Hambourg et Grenoble ; et, enfin, offrir des technologies de pointe à tous les chercheurs des pays membres pour stocker la data, l'analyser, etc. Des découvertes majeures ont été faites au sein de ce creuset de la biologie fondamentale, qui peut s'enorgueillir d'avoir décroché deux prix Nobel en chimie et en médecine. Petit zoom en images sur quatre de ces avancées.

Jacques Dubochet a reçu le prix Nobel de chimie en 2017, pour ses recherches sur la cryomicroscopie électronique. Il a été le premier à utiliser de l'eau vitrifiée pour préparer les échantillons biologiques – comme ce chou-fleur – dont les structures moléculaires supportaient mal la congélation.

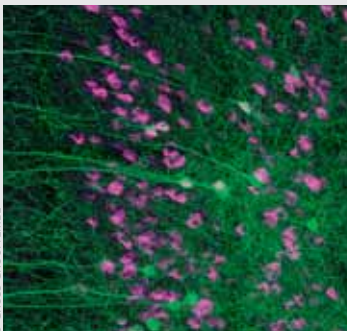


© A. CERUTTIA, JAUNEAU, NOEL / IIPM/TRICHS/PHOTOTHÈQUE

Christiane Nüsslein-Volhard et Erich Wieschaus ont obtenu le prix Nobel de médecine en 1995 pour leur analyse génétique systématique du développement embryonnaire de la mouche drosophile.



© D. ROUSSEAU



© GROSS/EMBL

Des chercheurs de l'EMBL à Rome ont découvert que le cortex préfrontal établissait des connexions importantes avec le tronc cérébral, afin de contrôler nos comportements instinctifs. Mais la façon dont le cortex préfrontal « freine » l'activité du tronc cérébral reste encore à élucider.



© C. SARDI/TARA OCEANS / CNRS PHOTOTHÈQUE

Les 35 000 échantillons de microplancton collectés par l'expédition Tara Oceans sont en cours d'analyse à l'EMBL, sous la houlette du biologiste Eric Karsenti. Les outils de microscopie avancée et de bio-informatique mis à disposition des scientifiques devraient aider à éclairer d'un jour nouveau l'histoire de l'évolution.



© E. H. ALCOCK/MAYO.P

“Je suis profondément européenne, britannique par mon père, grecque par ma mère, mariée à un Français et j’ai travaillé en France depuis le début de ma carrière: je dois faire quelque chose pour l’Europe!”

... quels que soient les sacrifices personnels que ce type de poste demande, les choses ne changeront jamais ! Enfin, à cause de l’état de l’Europe. La crise grecque, le vote pour le Brexit ont beaucoup affaibli ce bel édifice. Or je suis profondément européenne, britannique par mon père, grecque par ma mère, mariée à un Français et j’ai travaillé en France depuis le début de ma carrière : je dois faire quelque chose pour l’Europe !

En quoi va consister votre mission à la tête de cet organisme ?

E. H. : L’EMBL est un organisme souple, qui sait être réactif et adapte régulièrement ses priorités de recherche. Un nouveau programme de recherche est d’ailleurs mis sur pied tous les cinq ans. Le programme en cours, qui dure jusqu’en 2021, s’appelle Digital Biology et se focalise sur le fonctionnement de la cellule jusqu’à l’organisme complet. En arrivant à Heidelberg, mon premier rôle va être de réfléchir au prochain programme pluriannuel. Cela va demander un gros travail de diplomatie et de consultation des pays membres. Je

tiens ici à préciser que l’EMBL est indépendant de l’Union européenne, et que le Royaume-Uni continuera d’en faire partie après le Brexit. De même, les chercheurs étrangers qui travaillent dans notre unité de Hinxton, près de Cambridge, ne seront en aucun cas affectés par le Brexit.

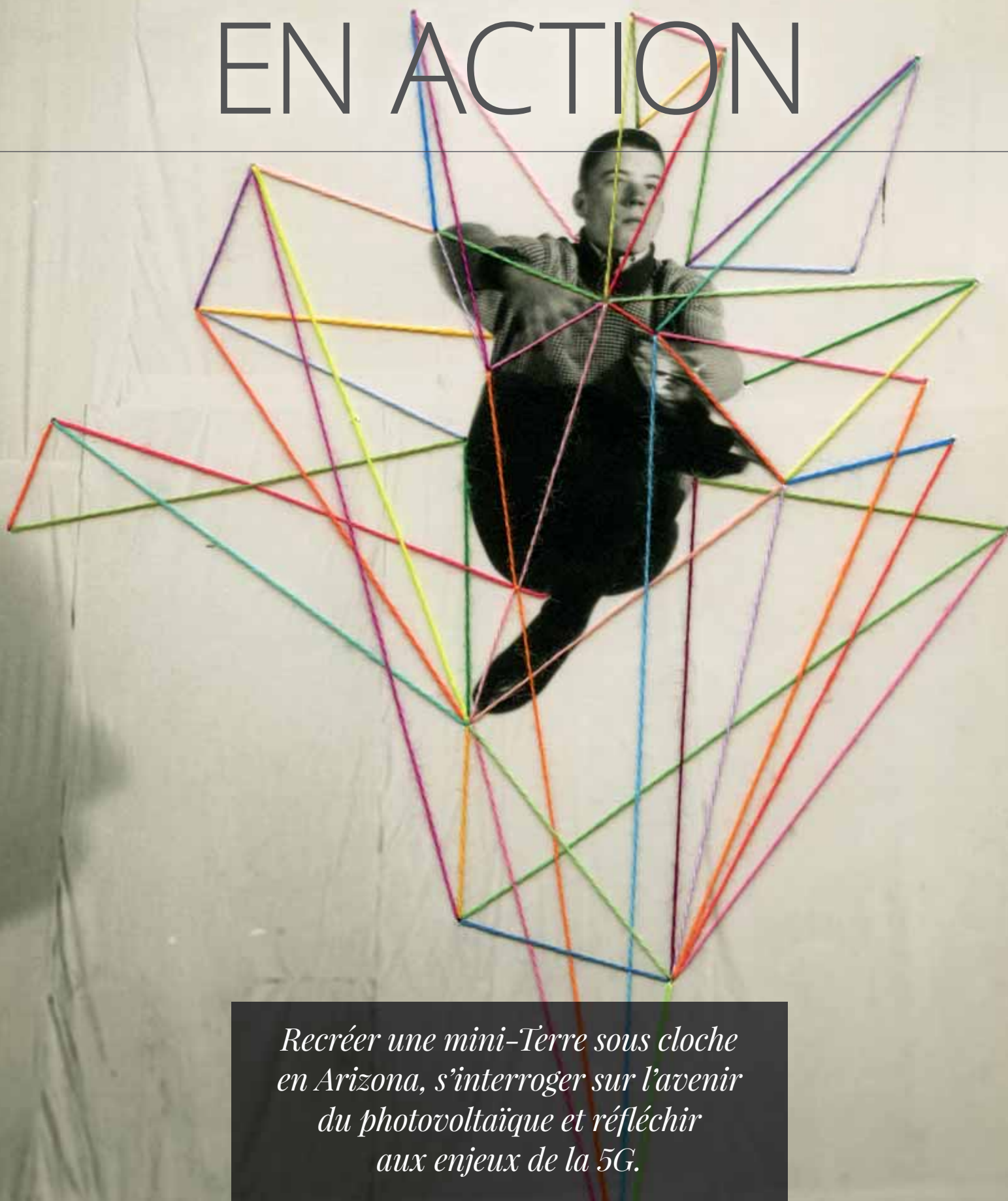
Vous êtes britannique, comment votre situation personnelle se trouve-t-elle affectée par le Brexit ?

E. H. : Je vous l’ai dit, je suis profondément européenne, et cette idée du Brexit me navre. Néanmoins, je dois m’y préparer ; c’est pour cette raison que je suis en train de faire les démarches pour obtenir la nationalité française, après presque trente ans passés dans l’Hexagone.

Vous codirigez depuis 2017 le programme Pause, animé par le Collège de France, où vous êtes professeure depuis 2012. Ce programme mis en place par le gouvernement précédent consiste à mieux accueillir sur le sol français les chercheurs étrangers en exil. Pourquoi cet engagement ?

E. H. : Je suis de culture internationale et j’ai travaillé presque toute ma vie en France sans que l’on me pose la moindre question. Je suis par ailleurs scientifique, un métier où l’on est amené à collaborer avec des personnes de toutes les nationalités et à voyager sur toute la planète. L’idée que des confrères ne puissent plus avoir cette liberté me dérange énormément. Depuis plusieurs années déjà, il existait des programmes d’accueil des scientifiques en exil aux États-Unis, au Royaume-Uni, mais rien en France. Le programme Pause veut réparer ce manque en permettant aux scientifiques en danger dans leur pays de continuer leurs travaux dans l’Hexagone dans les meilleures conditions possible. Généralement, ils ont déjà des contacts sur place, dans des universités et des laboratoires de recherche. L’idée est de faciliter leur accueil en accordant des financements incitatifs aux établissements d’enseignement supérieur et aux organismes de recherche publics projetant de les accueillir, mais également de les accompagner dans leurs démarches, pour obtenir un visa, un titre de séjour ou un logement en France. Cent quarante chercheurs venus de Syrie, de Turquie, d’Irak, du Yémen, du Venezuela, d’Afghanistan, du Burundi... ont déjà pu bénéficier de ce dispositif. C’est pourquoi je suis fière d’aider à en faire la promotion. **II**

EN ACTION



*Recréer une mini-Terre sous cloche
en Arizona, s'interroger sur l'avenir
du photovoltaïque et réfléchir
aux enjeux de la 5G.*

ILLUSTRATION : JULIE COCKBURN POUR CNRS LE JOURNAL

Une mini-Terre sous cloche



VIVANT ● TERRE ●

Environnement. Au cœur du désert de l'Arizona se dresse Biosphere 2, un immense dôme qui abrite un condensé des différents écosystèmes de la planète. Objectif : comprendre les interactions entre nature et changement climatique.

PAR ANAÏS CULOT

À l'horizon, la silhouette du complexe scientifique Biosphere 2¹ danse sous la chaleur du désert de l'Arizona. Le bâtiment vitré héberge une Terre miniature. À l'intérieur, dans un mélange de mécanique et de nature, de grands dispositifs recyclent l'air, un peu comme un poumon géant. Car s'il n'est pas régulé, l'air se dilate ou se contracte en fonction de la température extérieure, au risque de faire exploser cette serre géante.

Sous ce grand chapiteau vitré, scellé au sol par 500 tonnes de plaques en acier inoxydable, on passe de l'atmosphère chaude et humide de la forêt tropicale à l'air tiède et à l'odeur de sel d'un océan artificiel. Au total, cinq biomes miniatures se connectent dans l'écosystème global de plus d'un hectare.

Conçue à la fin des années 1980, initialement pour préparer des séjours sur Mars ou sur la Lune, la plateforme Biosphere 2 permet d'explorer de manière fondamentale les réactions environnementales d'un système

BIOME

Vaste région biogéographique s'étendant sous un même climat et caractérisée par la végétation et les espèces animales qui y vivent et y sont adaptées. Par exemple : la toundra, la forêt tropicale humide, la savane ou encore le récif corallien.

contrôlé. « Depuis 2014, le CNRS, associé à Biosphere 2, bénéficie de ce lieu unique pour mieux comprendre les rétroactions entre changement climatique, cycle du carbone et cycle de l'eau, ainsi que les réponses des habitats à ces modifications », expose Régis Ferrière, directeur du laboratoire iGlobes² situé à Tucson, en Arizona.

Observer la réponse des plantes et des océans

Tous les habitats subissent actuellement un stress environnemental influençant leur dynamique et leur évolution. En conséquence, des dispositifs comme le Métatron³ en France, permettant l'étude des réactions de populations animales et végétales au changement climatique, et Biosphere 2, étendu aux réponses d'écosystèmes entiers, jouent un rôle crucial pour comprendre comment l'environnement réagit au changement du climat. « C'est unique d'avoir en Arizona, à proximité immédiate de quelques-uns des meilleurs laboratoires de sciences environnementales au monde, un petit morceau de forêt tropicale. Depuis leur création il y a environ trente ans, les communautés végétales ont eu le temps de se stabiliser. Aujourd'hui, elles font l'objet d'études inédites dans de telles conditions contrôlées, par exemple sur les composés organiques volatils », précise Régis Ferrière.

Ces espèces organiques gazeuses, actrices importantes de la chimie de l'atmosphère, influent notamment sur l'effet de serre et les concentrations en ozone. En tirant parti des avantages d'un système clos comme Biosphere 2, qui permet de s'affranchir de nombreuses contraintes du milieu naturel (multiplication des sources, des conditions météorologiques, etc.), l'équipe du

► **Vue aérienne de Biosphere 2 à Oracle, en Arizona.**

professeur Laura Méredith, spécialiste de génomique des écosystèmes à l'Université d'Arizona, parvient à observer leur composition et leur implication sur le fonctionnement des plantes.

Plus loin, un consortium d'équipes internationales, sous la houlette de Diane Thompson, professeure de géosciences à l'Université d'Arizona, explore les effets complexes des variations du CO₂ atmosphérique sur le fonctionnement des écosystèmes océaniques. « On analyse les réponses de la diversité génétique des récifs coralliens aux changements climatiques, détaille Régis Ferrière. Existe-t-il des variantes génétiques de coraux plus résistantes que d'autres à des changements de température ou de pH de l'eau de mer ? Comment différentes variétés génétiques interagissent-elles et répondent conjointement aux effets du changement climatique ? » À chaque biome, sa problématique.



© S. MECKLER/UNNEWS

► **Des visiteurs explorent la zone correspondant au désert.**

► **Avec un volume d'eau total de près de 685 000 litres, ce mini-océan permet de simuler l'évolution d'un récif corallien.**



© B. DEMERS/JUANNEWS

Sous de grandes chapelles de verre, trois collines artificielles de 11 mètres sur 6 truffées de sondes et de capteurs électroniques servent à l'étude des cycles de l'eau et du carbone d'un bassin-versant. Des arroseurs imposent des pluies d'intensité variable à des sols formés à partir de basalte, caractéristiques de zones semi-arides.

« On cherche à comprendre le bilan carbone du sol. D'un côté, l'altération des minéraux est un processus qui séquestre du CO₂ dans le sol, de l'autre, la respiration

BASSIN-VERSANT
Zone géographique naturelle recevant les précipitations qui alimentent un cours d'eau.

de sol », explique Régis Ferrière. Un dispositif similaire miniaturisé dans l'Écotron⁴, en Île-de-France, simulateur climatique entièrement confiné et contrôlé, complète cette expérience.

Comprendre le cycle du carbone

« La dégradation de la matière organique par les enzymes de certains micro-organismes constitue un maillon crucial du cycle du carbone. Or, le changement climatique impose une sélection génétique des micro-organismes et donc de leurs propriétés fonctionnelles comme leur capacité à sécréter des enzymes. Avec les deux dispositifs, Biosphere 2 et Écotron, on agit sur le climat et on veut comprendre comment le cycle du carbone s'en trouve modifié », détaille le chercheur. Les données récoltées alimentent un réseau de modèles de fonctionnement global des écosystèmes dans le but d'améliorer les projections du climat.

Siège d'expériences scientifiques uniques au monde, Biosphere 2 jouit également d'une riche histoire. Celle-ci a inspiré Brigitte Juanals, chercheuse du Centre Norbert Elias⁵, lors de son séjour en tant que chercheur invité par iGlobes au printemps 2018. En effet, elle souhaite analyser comment la communication, faite par cette entité, et sa médiatisation contribuent à définir son identité dans notre société. « Les évolutions de Biosphere 2 sont en relation avec celles de la société relatives aux interactions entre l'homme et son environnement naturel. Je pense que l'on peut aborder les différentes dimensions de Biosphere 2 au travers de la communication, les médias s'étant rapidement intéressés au projet », explique la chercheuse.

De ses premières problématiques liées aux conditions d'existence, à la préservation des espèces et au changement climatique, Biosphere 2 demeure une plateforme tournée vers l'avenir. Comprendre sa place dans la société, comment elle s'articule dans les préoccupations de différentes époques, c'est aussi nous aider à mieux appréhender ce que demain nous réserve. **II**



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

1. Biosphere 2 est rattaché à l'Université d'Arizona. 2. Unité CNRS/Université d'Arizona/ENS Paris/Université PSL. 3. Le Métatron est situé à la Station d'écologie théorique et expérimentale du CNRS à Moulis, en Ariège. 4. L'infrastructure de recherche Écotron, coordonnée par l'Institut écologie et environnement du CNRS, inclut deux sites complémentaires : l'Écotron européen de Montpellier et l'Écotron ÎleDeFrance. 5. Unité CNRS/École des hautes études en sciences sociales/Avignon Université/Aix-Marseille Université.

Un plan pour les doctorants

PAR LAURENCE STENVOT

Ressources humaines. Le CNRS va recruter 300 doctorants entre cette année et 2020, pour soutenir la stratégie scientifique de ses instituts.

Antoine Petit, président-directeur général du CNRS, l'avait annoncé dans notre dernier numéro¹: l'organisme compte recruter 200 doctorants cette année, et au moins une centaine en 2020. Un véritable changement pour la politique scientifique du CNRS qui s'était privé depuis des années, pour des raisons budgétaires, de cette possibilité de financer directement des doctorants. Or un audit de son fonds de roulement a permis d'identifier une somme de 80 millions d'euros libre d'utilisation. Le choix a donc été fait d'en investir une partie pour le recrutement de ces 300 doctorants. « *Ce recrutement est un outil de stratégie scientifique: nous donnons aux instituts l'occasion de construire leurs propres propositions à partir de leur vision scientifique* », explique Alain Schuhl, directeur général délégué à la science au CNRS.

Pour cela, les instituts sont invités à proposer des projets scientifiques s'inscrivant dans trois champs: la coopération internationale, l'aide à des questions sociales comme les Objectifs de développement durable définis par l'Organisation des Nations unies et la pluridisciplinarité. « *Trois champs d'action qui font partie des axes prioritaires du CNRS et qui ne se télescopent pas avec des dispositifs existants* », note Alain Schuhl.

Interdisciplinarité et international

En matière de pluridisciplinarité, l'appel à projet 80 Prime, clôturé à la fin janvier 2019, a permis de faire émerger des projets multi-équipes qui pourront donner lieu au recrutement de 80 doctorants. Soixante autres seront dédiés à l'accompagnement de la politique internationale du CNRS et une soixantaine aux questions de société pour l'année 2019.

« *Fin mars, nous aurons procédé à l'arbitrage entre les propositions. Les équipes de recherche retenues seront informées rapidement afin de leur donner du temps pour identifier un doctorant en adéquation*

avec leur projet », indique le directeur général délégué à la science. Qui espère également que ce recrutement aura un effet levier et motivera des financements complémentaires, en particulier de collectivités territoriales. « *Un certain nombre de doctorants seront cofinancés par les régions* », précise Alain Schuhl.

Salaires revus à la hausse

Parmi les propositions remontées par l'Institut des sciences humaines et sociales (INSHS), douze abordent des défis sociaux, liés en particulier aux enjeux de l'intelligence artificielle, de l'éducation ou encore de la santé. « *Seulement 42 % des doctorants en science de la société et 38 % en sciences humaines et humanités bénéficient d'un financement dédié contre plus de 90 % pour la plupart des autres sciences*². Avoir la possibilité de distribuer des contrats doctoraux, par exemple sur les études aréales ou



1. « La France doit être fière de son CNRS », CNRS Le Journal n° 294, p. 30. 2. Source : L'État de l'emploi scientifique en France, ministère de l'Éducation supérieure, de la Recherche et de l'Innovation, Rapport 2018. 3. Unité CNRS/Université de Lyon-1/Université Claude-Bernard Lyon-1/Inserm.

En bref

Une unité mixte internationale en Israël

En janvier, Filofocs, unité mixte internationale (UMI), spécialisée en informatique, a été créée pour cinq ans par le CNRS, l'université Paris-Diderot et leurs partenaires israéliens de l'Université de Tel Aviv, de l'Université hébraïque de Jérusalem et de l'Institut Weizmann des sciences. La première UMI du CNRS en Israël se consacrera aux fondements de l'informatique afin d'en comprendre la puissance et les limites. Ces recherches auront aussi des applications dans le domaine des réseaux de communication, de la bio-informatique ou encore du calcul quantique. Cette UMI est l'aboutissement de plusieurs années d'échanges avec les projets du Laboratoire international associé Filofocs entre le CNRS, l'Université Paris-Diderot et l'Université de Tel-Aviv.

L'Inpi récompense un laboratoire

Le 10 décembre, l'édition 2018 des Trophées de l'Institut national de la propriété industrielle (Inpi) a mis à l'honneur le Laboratoire d'informatique, signaux et systèmes de Sophia-Antipolis (I3S) (CNRS/Université de Côte d'Azur). Son directeur Olivier Meste s'est en effet vu remettre le trophée dans la catégorie « Recherche », qui récompense les travaux du Laboratoire en matière d'intelligence artificielle. Ces recherches et les dépôts de brevets d'I3S ont permis la création de six entreprises.



Lire nos articles sur deux recherches menées à l'I3S : « L'IA traque le harcèlement en ligne » et « Des algorithmes pour dépister le dopage » sur lejournald.cnrs.fr

MaHTEO: un laboratoire commun avec Air Liquide

Le laboratoire Procédés et ingénierie en mécanique et matériaux (CNRS/Arts et Métiers ParisTech/Cnam) et Air Liquide se sont associés pour créer MaHTEO¹, laboratoire chargé d'étudier les interactions entre les métaux liquides et l'environnement gazeux à haute température. L'un des objectifs de ce laboratoire est d'augmenter la sécurité des installations d'oxygène. Sur le long terme, l'équipe du MaHTEO vise la réalisation d'un outil numérique d'aide au design de systèmes oxygène. Ce nouveau laboratoire s'inscrit dans le cadre d'un accord-cadre de coopération et de recherche, entre le CNRS et Air Liquide qui ont mené depuis dix ans plus de soixante-dix collaborations, dont la création de trois laboratoires communs en France.

1. Pour Matériaux à haute température, environnement gazeux et oxygène.

pour favoriser l'internationalisation des sciences humaines et sociales, est donc pour nous une vraie chance », confie François-Joseph Ruggiu, directeur de l'INSHS.

Le devenir des doctorants entre aussi en ligne de compte. Les problématiques en lien avec des sujets actuels seront ainsi privilégiées, pour leur assurer davantage de débouchés à la sortie des trois années doctorales. L'organisme a également fait le choix d'accompagner ce recrutement d'une hausse de 20 % du salaire des doctorants. « *L'objectif n'est pas d'établir une concurrence avec les autres établissements qui financent des doctorants mais de revaloriser les revenus de ces jeunes chercheurs. C'est un choix nécessaire! Les salaires des doctorants français sont en effet faibles au vu de leur niveau d'étude* », précise le directeur général délégué à la science. ■



© F. PLAGNIN/CNRS PHOTOTHÈQUE

► Valérie Castellani, biologiste, et Thibault Gardette (doctorant) préparent des échantillons pour des expériences de biologie moléculaire à l'Institut NeuroMyoGene³.

« Les sciences du patrimoine sont en plein renouveau »



© D. GOUPY

MATIÈRE

SOCIÉTÉS



Matériaux. Du 13 au 16 février, les experts mondiaux de la recherche sur les matériaux anciens avaient rendez-vous à Paris lors de la Rencontre mondiale patrimoines, sciences et technologies. Entretien avec Loïc Bertrand, directeur du laboratoire Ipanema et coorganisateur de cet événement.

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENCE STENVOT

Le CNRS et le laboratoire Ipanema¹, en collaboration avec l'Académie des sciences, ont organisé la Rencontre mondiale patrimoines, sciences et technologies, sous l'égide du Groupe interacadémique pour le développement (GID)². Une première ?

Loïc Bertrand : Tout à fait. L'idée d'organiser cette rencontre au sein du tout nouvel auditorium de l'Institut de France n'était d'ailleurs pas anodine. Catherine Bréchnac, secrétaire perpétuel honoraire de l'Académie³, nous a d'ailleurs immédiatement proposé de coorganiser cet événement. Celui-ci marque la reconnaissance de la recherche sur les matériaux anciens, champ disciplinaire qui s'est développé au fil des ans. C'est un moment précieux pour nous qui souligne la collaboration entre laboratoires et l'émergence d'une génération de chercheurs qui travaillent avec de nouveaux outils. Nous en avons profité pour faire le point sur les avancées scientifiques dans la recherche sur les matériaux anciens en archéologie, paléo-environnements, paléontologie et pour le patrimoine culturel, mais également pour identifier les thématiques émergentes afin de favoriser leur développement.

Comment s'est déroulée la Rencontre ?

L. B. : Elle a été marquée par trois temps forts : deux jours de colloque scientifique, une journée de tables

rondes ouvertes au public et, en parallèle, six événements organisés en Île-de-France approfondissant chacun une thématique particulière. Plusieurs grands acteurs étaient conviés. Comme Piero Baglioni de l'Université de Florence, pionnier dans les nouveaux traitements de restauration du patrimoine à partir de gels nanostructurés, Katrien Keune du Rijksmuseum d'Amsterdam, spécialiste des mécanismes physico-chimiques d'altération des peintures flamandes, ou encore Uwe Bergmann, physicien américain qui développe de nouveaux outils pour l'étude de la composition et de la biochimie des fossiles à partir de rayons X. Une vingtaine d'oratrices et d'orateurs du CNRS ou issus de différents laboratoires liés au CNRS sont intervenus, montrant la force de celui-ci dans la recherche sur les matériaux anciens.

Ces journées ont aussi été l'occasion de réfléchir à l'organisation de la communauté de cette discipline. Aujourd'hui, par exemple, le Domaine d'intérêt majeur Matériaux anciens et patrimoniaux, réseau que nous animons en Île-de-France, regroupe 733 scientifiques répartis dans 95 laboratoires. La recherche en matériaux anciens résulte donc d'une structure diffuse, véritable moteur d'une interdisciplinarité absolument nécessaire, mais qui soulève également des questions d'animation, de partage et de formation.

Quels sont les grands défis mondiaux pour faciliter la recherche sur les matériaux du patrimoine ?

L. B. : Je vais vous citer trois enjeux. Tout d'abord obtenir un meilleur soutien. La Commission européenne, avec l'appui du Parlement européen, a annoncé que le patrimoine serait de retour parmi ses priorités de recherche 2021-2027. Du jamais vu depuis le 5^e programme-cadre qui date de vingt ans ! Il n'y a pas si longtemps, le sujet n'était pas vu comme de la science « sérieuse », même si les découvertes importantes se multipliaient, avec, de plus, un très fort intérêt du public. Un deuxième enjeu est de développer des collaborations internationales sur des objets, des collections ou des sites uniques. Il faudrait mieux articuler la recherche et les expositions des grands musées, ou encore pouvoir mieux s'investir dans les chantiers de fouilles archéologiques importants. Enfin le troisième enjeu : l'interdisciplinarité, qui est critique pour l'étude des patrimoines. Le fait d'avoir des communautés si interdisciplinaires nous amène à faire collaborer des chercheurs issus de domaines aussi différents que l'histoire de l'art, la physique, les mathématiques ou les sciences sociales. Par exemple, la collaboration directe avec les humanités numériques questionne le droit, le statut des données, les





Lire notre dossier « La science révèle le patrimoine » sur lejournel.cnrs.fr



© CFC

Le Centre de recherche sur la conservation étudie la composition du *Codex Borbonicus*, manuscrit aztèque du XV^e siècle, afin de proposer une conservation adaptée.

conditions de réemploi, les usages... Les avancées obtenues pourraient également être amenées vers d'autres sciences. Le patrimoine est un véritable bouillon de culture interdisciplinaire !

La recherche sur les matériaux anciens connaît actuellement un profond renouveau. Notamment grâce au développement de nouvelles méthodes telles que l'imagerie, le scanner 3D, le laser et les grands instruments...

L. B. : L'imagerie spectrale haute définition est pour nous une révolution qui a commencé il y a une vingtaine d'années et qui prend une ampleur insoupçonnée. Elle nous permet d'étudier des fossiles, des tableaux, associant informations de composition et de forme. Coupler

ces deux niveaux d'information facilite l'interprétation de systèmes très complexes, en outre vieilliss et altérés, et cela nous permet d'identifier plus rapidement les points clés à étudier. Nous pensons que les futurs modes de fouilles des données joueront un rôle critique pour mieux comprendre un mécanisme d'altération, la forme d'un organe fossile, ou pour identifier des signatures et des indices qui aideront à établir une authenticité.

Vous êtes le représentant de la France (avec Isabelle Pallot-Frossard⁴) auprès de l'European Research Infrastructure for Heritage Science (E-RIHS) dont l'équipe était présente à la Rencontre mondiale. Pouvez-vous en dire plus sur cette plateforme ?

L. B. : E-RHIS, qui sera opérationnelle dès 2022, a pour objectif de regrouper de grands outils de caractérisation (synchrotron, microscopies, lasers, instruments de datation...), des outils mobiles, et de coupler le tout à des bases de données et à des fonds d'archives. Cette plateforme répond à un besoin de simplification. Par exemple, si un muséum veut étudier une collection importante, il n'existe pas aujourd'hui de guichet commun auprès des outils européens. Une équipe de recherche devrait faire autant de demandes de caractérisation que d'instruments. E-RIHS permettra de donner ces accès communs. L'idée est également de pouvoir soutenir des projets longs (collections de musée et muséums, grands projets d'exposition, travaux sur site) avec des consortiums nationaux ou internationaux importants. Une fois le projet sélectionné, E-RIHS ouvrira toute la force de frappe des infrastructures en

Europe. Le sujet des compétences est également au cœur d'E-RHIS, car les utilisateurs de cette infrastructure viennent tout autant chercher des outils que des gens. Grâce à la Rencontre mondiale, nous avons pu alerter les organismes et les universités sur le fait que le développement de ce champ de recherche implique le développement de métiers. Dans certains pays européens tels que la France, l'Italie, l'Espagne ou encore la Grèce, les collections sont telles que les recherches se développeront à un double niveau, national et européen. Mais le but est d'avoir un lieu où l'on discute des priorités et du développement des outils de manière concertée pour éviter des doublons, et offrir des outils mieux adaptés.

Vous êtes également le directeur de la plateforme Ipanema. Quelle expérience apportera cette dernière à l'E-RIHS ?

L. B. : Ipanema est une structure atypique liée à la naissance du synchrotron Soleil⁵, que le CNRS et ses partenaires ont souhaité ouvrir à un certain nombre de thématiques scientifiques telles que la recherche sur le patrimoine. La plateforme a un mode de fonctionnement particulier : elle pratique beaucoup de recherches méthodologiques et de développement de nouveaux outils. Via son fonctionnement par hébergement de collègues sur la base d'un projet scientifique, elle permet à la communauté, notamment aux jeunes scientifiques, de se former aux méthodes synchrotron. D'une certaine façon, les questions d'organisation que se pose E-RHIS sont des questions auxquelles nous avons eu affaire à Ipanema. Nous pourrions ainsi utiliser notre expérience pour aider au mieux son développement. **II**

1. Unité CNRS/Ministère de la Culture/Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Muséum national d'histoire naturelle. 2. Présidé par François Guinot, le Groupe interacadémique pour le développement est un réseau international créé en 2007 par onze académies de l'Europe du Sud et du continent africain. 3. Ancienne présidente du CNRS, Catherine Bréchnignac est aussi ambassadrice déléguée à la Science, la technologie et l'innovation. 4. Isabelle Pallot-Frossard, historienne de l'art, dirige le Centre de recherche et de restauration des Musées de France depuis 2016. 5. Pour Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du Lure (Laboratoire pour l'utilisation du rayonnement électromagnétique).

Un capteur pour une meilleure prise en charge des AVC

MATIÈRE

VIVANT

Électronique. La start-up Sensome met au point une technologie d'aide à la décision au cours du traitement chirurgical d'un accident vasculaire cérébral. Les premiers essais cliniques sont prévus cette année.

PAR MATHIEU GROUSSON

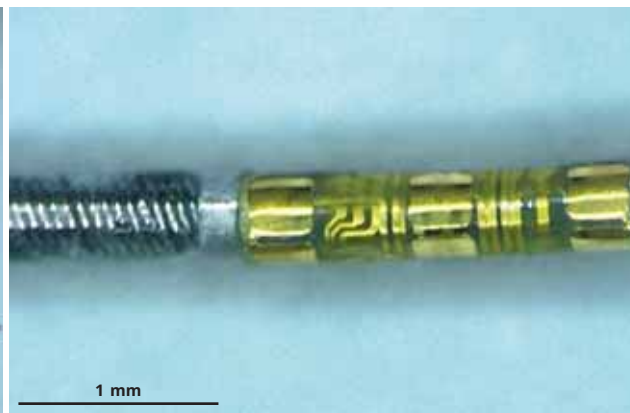
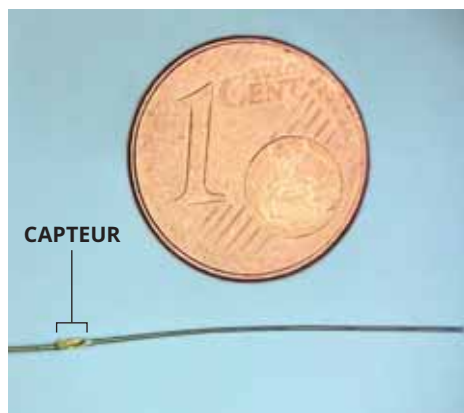
Chaque année, en Europe et aux États-Unis, 1,5 million de personnes sont victimes d'un accident vasculaire cérébral (AVC) dit « ischémique ». Réalisée dans les quelques heures qui suivent l'accident, une opération chirurgicale permet le retrait du caillot qui obstrue les vaisseaux sanguins. Pour autant, selon sa nature, l'intervention est plus ou moins complexe. D'où l'idée de Sensome, start-up issue de travaux réalisés au Laboratoire d'hydrodynamique¹, de proposer un capteur ultraminiaturisé doublé d'une intelligence artificielle (IA) qui, placé à l'extrémité d'un guide neurovasculaire, permette d'identifier précisément la nature du tissu en présence. De quoi aider le chirurgien à adapter ses gestes à chaque situation. « Selon les cas, l'opération dure de quelques minutes à plusieurs heures, commente Franz Bozsak, cofondateur de Sensome. Notre objectif est de faire en sorte que chaque intervention dure le moins longtemps possible. »

Pourtant, lorsqu'en 2013 le jeune ingénieur termine sa thèse sous la direction d'Abdul Barakat, directeur de recherche au CNRS, ses préoccupations sont assez éloignées des AVC. Spécialiste des stents, il se demande comment instrumenter ces dispositifs introduits dans les artères à la suite d'un infarctus pour le suivi de la cicatrisation. « Il fallait un capteur de taille minuscule, de surcroît suffisamment sensible pour remonter des informations pertinentes », se souvient Franz Bozsak. Enchaînant sur un post-doc financé par le CNRS, le chercheur, sur les conseils d'Abdul Barakat, lui aussi cofondateur de Sensome, oriente ses recherches sur un capteur d'impédance. Qui sait si ces capteurs parfois utilisés pour suivre le déplacement de cellules pourraient également donner des informations sur la

structure et les propriétés des tissus auxquels elles appartiennent. « En fonction de la fréquence du courant qui traverse le capteur, on peut sonder différentes échelles spatiales de la cellule au tissu », précise le scientifique. Mais à l'époque, ce n'est qu'une idée.

Se former au business

En même temps qu'il réalise les tout premiers essais, Franz Bozsak suit un programme mis en place par l'Université de Stanford et l'École polytechnique pour se sensibiliser aux aspects business de son aventure naissante. Lauréat du Concours mondial d'innovation 2014, il reçoit une aide financière qui lui permet de fonder la start-up et de recruter les trois premiers ingénieurs.



Entre les murs du laboratoire dont le CNRS est co-tutelle, la petite équipe s'attelle à trois tâches en parallèle : miniaturiser son capteur, comprendre quels sont les signaux porteurs d'informations et développer les algorithmes d'IA permettant de les analyser. Ainsi, un premier brevet est déposé en 2014, suivi d'un autre l'année suivante. « Aujourd'hui, notre technologie se fonde sur six familles de brevets dont le CNRS est copropriétaire », complète Franz Bozsak.

2015 et 2016 sont deux années de maturation, avec la réalisation d'un premier système opérationnel et les

1. Unité CNRS/École polytechnique.



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

Le site de Sensome
 >> <https://www.sensome.com>

premiers tests sur des modèles animaux. Encouragée par plusieurs prix, dont un au Concours i-Lab 2015, et une première levée de fonds conséquente, la start-up s'agrandit, atteignant un effectif de neuf personnes fin 2016.

Distinguer les différents types de caillots

C'est aussi durant cette période que Sensome conçoit la première application de sa technologie. D'une part, il apparaît que le marché des stents coronaires sera difficile à investir pour une jeune pousse. D'autre part, depuis 2014, une technique chirurgicale permet le retrait des caillots impliqués dans les AVC, jusqu'alors dissous par absorption médicamenteuse. Avantage : cette opération permet d'intervenir jusqu'à 24 heures après un accident vasculaire, contre quelques heures, au mieux, auparavant, et avec des résultats moindres. « Cette opération est réalisée soit avec une grille qui ressemble à un stent, agissant comme une sorte de tire-bouchon, soit avec un cathéter d'aspiration. Grâce à une sonde équipée de notre capteur, il nous est apparu qu'elle pourrait remonter de précieuses informations au chirurgien sur le corps à extraire avant intervention », explique Franz Bozsak.

Deux ans plus tard, suite à une nouvelle levée de fonds en 2017, qui a notamment vu le CNRS entrer au capital de la start-up via sa filiale CNRS Innovation, le dispositif connecté de Sensome, baptisé Clotild, est prêt. « Doté du plus petit capteur d'impédance au monde, il permet notamment de distinguer avec une très bonne sensibilité les caillots blancs, riches en fibrines et peu cassants, des caillots rouges, riches en globules rouges et très friables », poursuit le lauréat 2016 du prix de la MIT Review. La jeune entreprise emploie désormais 19 personnes. Les premiers essais sur l'homme sont en ligne de mire. « Nous tablons sur une première commercialisation dès 2020 », ajoute Franz Bozsak. Sensome planche déjà sur d'autres applications de sa technologie... II

► Le dispositif connecté mis au point par la start-up Sensome est doté d'un capteur miniaturisé. Il permet au chirurgien d'adapter ses gestes à chaque situation.

© PHOTOS : SENSOME

En bref



© N. BAKER/CNRS PHOTO THEQUE

Lire dans la roche l'histoire de l'art pariétal du Zimbabwe

Avec ses milliers d'abris décorés, le massif des Matopos, dans le sud-ouest du Zimbabwe, s'impose comme l'un des lieux emblématiques de l'art pariétal dans le monde. La présence en nombre de figures humaines, alors qu'en Europe les peintures rupestres font la part belle aux animaux, surprend. Mais quand ces dessins ont-ils été tracés ? Et avec quelles techniques ? Une équipe franco-zimbabwéenne d'archéologues et de spécialistes de l'art pariétal tente de retracer cette histoire grâce à l'étude des sédiments de la grotte de Pomongwe. Ces quatre mètres de terre et de débris accumulés au fil des millénaires recèlent des bouts de paroi arrachés et des matériaux qui permettent d'estimer entre 10000 et 13000 ans l'âge des premières peintures réalisées sur le site. Mais le travail n'est pas terminé : d'autres grottes ornées attendent d'être datées.



► Retrouver le reportage vidéo « Sur les traces des premiers peintres d'Afrique », sur lejournal.cnrs.fr et lemonde.fr

Le Monde

Énergie. La production d'énergie photovoltaïque a le vent en poupe. Et la recherche française est sur tous les fronts pour l'améliorer encore : baisse des coûts, meilleures performances et allongement de vie des panneaux solaires. Des défis que l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France, inauguré en décembre, s'apprête à relever.

Le solaire brille déjà

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Solar Impulse, centrales ou routes solaires, panneaux photovoltaïques flottants ou déployables : les projets innovants en matière de solaire sont légion. En quelques années, l'électricité photovoltaïque a atteint près de 2,1 % de la production d'électricité française¹ sur les douze derniers mois. Le solaire, une filière d'avenir ? Pour Daniel Lincot, directeur scientifique de l'Institut photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF)² et directeur de recherche au CNRS, cela ne fait aucun doute : « Il y a quinze ans, le photovoltaïque ne pesait quasiment rien. En 2017, ce sont 100 gigawatts qui ont été installés. C'est une ressource encore trop sous-estimée dont le potentiel est considérable ! », explique-t-il.

Créé en 2013 dans le cadre des « investissements d'avenir », l'IPVF est labellisé Institut pour la transition énergétique. L'inauguration le 18 décembre 2018 du nouveau bâtiment, au cœur du campus de Paris-Saclay à Palaiseau, marque un nouveau cap. Cette structure inédite rassemble 3 500 m² de laboratoires et de salles blanches, 150 chercheuses et chercheurs, une centaine d'équipements de recherche de pointe. Elle associe des partenaires académiques, comme le CNRS ou l'École polytechnique, de grands industriels, comme EDF, Total et Air liquide, et de plus petites entreprises, comme Horiba ou Riber. Et elle entend bien construire des ponts entre recherche fondamentale et innovations industrielles. « Face aux défis que pose la transition énergétique,

▲ Pulvérisation cathodique de matériaux photovoltaïques dans l'une des salles blanches de l'IPVF.



© IPVF 2018

SALLE BLANCHE

Il s'agit d'une pièce vidée au maximum des particules en suspension contenues dans l'air.

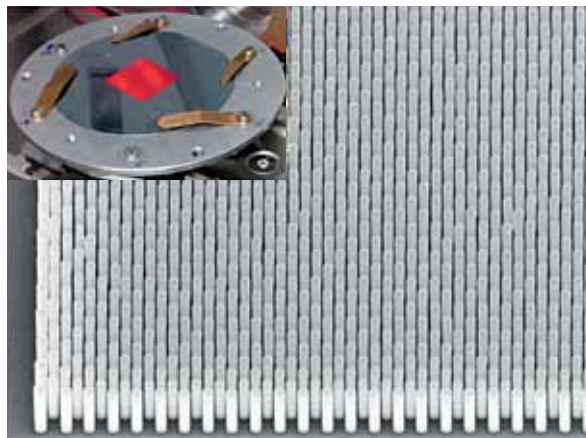
c'est une véritable opportunité pour nous en France et au sein de l'Europe de disposer d'un endroit qui permet de mobiliser et de fédérer la recherche expérimentale et des partenaires industriels », insiste Jean-François Guillemoles, directeur de recherche au CNRS et directeur de l'unité mixte de recherche interne de l'IPVF³.

Capture plus efficace des photons

Déjà viable et compétitif, le coût du photovoltaïque a chuté d'un facteur 1 000 sur les trente dernières années pour atteindre aujourd'hui moins de

20 euros le mégawattheure, dans les endroits les plus favorables. Mais certains verrous limitent son développement. « Nous avons identifié trois défis scientifiques à relever : la baisse des coûts de production, l'amélioration de la performance des cellules photovoltaïques et l'allongement de la durée de vie des panneaux solaires, qui se situe aujourd'hui entre vingt et trente ans », détaille Daniel Lincot. Tout l'enjeu est de dépasser les plafonds de rendement des technologies actuelles, soit la capacité de ces matériaux semi-conducteurs à piéger et à

▲ Nouvelle génération de cellule solaire (en haut à gauche) constituée de réseaux de nanofils à base de semi-conducteurs III-V, dont la croissance a été réalisée directement sur du silicium.



2 μm

© LPN-CNRS



transformer la lumière du soleil en électricité.

La filière silicium⁴ représente aujourd'hui près de 95 % du marché de l'énergie solaire, mais de nouvelles voies sont à l'étude pour capter plus efficacement les photons. « Il y a un foisonnement des filières : le silicium cristallin, technologie déjà mature, qui atteint un rendement record de plus de 25 %. Il y a

également la filière dite des "couches minces", à base de matériaux semi-conducteurs, tels que le CIGS, le silicium ou le tellure de cadmium, qui s'en approchent avec, respectivement 22,9 % et 22,1 %. Puis les matériaux dits "III-V" (en référence à la place des éléments utilisés dans le tableau périodique, NDLR) tels que le GaAs où l'on atteint un rendement à 29,1 % – plus de 40 % en multi-jonction. Et, plus récemment, les pérovskites, cellules solaires hybrides. Elles sont constituées d'un mélange de matériaux organiques et inorganiques qui, en quelques années, atteignent environ 23 % de rendement, mais soulèvent encore des questions en termes de stabilité », précise Pere Roca i Cabarrocas, directeur du Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces⁵ et directeur de la Fédération de recherche photovoltaïque.

Les chercheurs considèrent que l'avenir du photovoltaïque passe par la convergence de ces filières, en particulier dans des cellules tandems, une priorité pour l'IPVF. Ces cellules reposent sur l'association d'une cellule à base de silicium et d'une cellule pérovskite ou encore sur le couplage avec des cellules III-V.

En décembre, l'Institut a ainsi obtenu un nouveau record d'efficacité, justement pour des cellules solaires III-V pouvant être couplées au silicium avec une efficacité de



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

conversion de 18,7 %. « Quelle est la meilleure piste ? Pour l'instant, nous ne la connaissons pas encore. Chacun doit pousser ses technologies au maximum : l'innovation est aux interfaces », ajoute Pere Roca i Cabarrocas.

Le défi des « 30/30/30 »

Les limites de rendement des cellules solaires sont estimées à plus de 85 %. Si elles sont encore loin des démonstrations en laboratoire, les atteindre est l'un des objectifs de recherche de l'IPVF. Aussi, pour développer ces filières technologiques de rupture, comme pour améliorer les filières existantes, l'IPVF et ses partenaires développent des méthodes de caractérisation et de simulation avancées, pour analyser et corriger par exemple les processus de vieillissement des cellules photovoltaïques mis en œuvre en condition réelle d'utilisation. Enfin, un programme de recherche vise à évaluer l'impact et les opportunités socio-économiques des technologies solaires.

En marge de la COP 21, l'IPVF s'est fixé une mission ambitieuse, celle des « 30/30/30 » : 30 % de rendement à 30 centimes de dollar le watt en 2030. « Nous ne sommes pas là que pour faire de la belle recherche mais nous sommes aussi là pour répondre à de grands enjeux économiques, écologiques, sociaux ; pour anticiper ce qui va se passer dans les dix ans, dans les vingt ans. Nous travaillons sur des programmes et des projets plus grands que nous. Cette transition énergétique, tout le monde la veut mais elle est difficile », partagent les chercheurs. L'objectif de la France est d'atteindre les 30 % d'énergies renouvelables d'ici à 2030. Propre, disponible, de moins en moins coûteux, recyclable à plus de 90 %, le solaire est prêt à en prendre sa part. II

1. Ce qui place la France dans la moyenne mondiale. À titre d'exemple, en Allemagne et en Italie, le photovoltaïque atteint environ 7 % de la production d'électricité. 2. Partenaires : CNRS/École Polytechnique/EDF/Total/Air Liquide/Horiba/Riber/Investissements d'avenir. 3. Unité CNRS/École Polytechnique/Chimie ParisTech PSL/EDF/Total/Air Liquide/IPVF-SAS. 4. Le principe consiste à découper des lingots de silicium en plaquettes pour former des cellules photovoltaïques capables de transformer l'énergie solaire en électricité. L'une des limites du silicium est l'épaisseur nécessaire de ces plaquettes pour absorber efficacement la lumière du soleil. Le silicium est le deuxième élément le plus abondant de la croûte terrestre après l'oxygène. 5. Unité CNRS/École polytechnique.

VIVANT

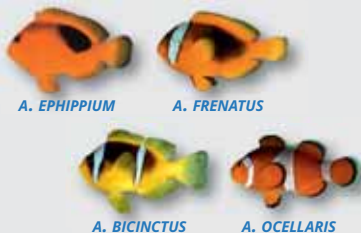
TERRE

Le poisson-clown traîne toujours en bande

Non content d'être une star des films d'animation avec *Le Monde de Nemo*, le poisson-clown est aussi la vedette des labos. Et, à écouter Vincent Laudet, chercheur et directeur de l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales)¹, on saisit pourquoi : « *Il est pratiquement le seul poisson corallien dont on peut reproduire l'intégralité du cycle de vie en laboratoire.* » Avec ses collègues de l'université de Liège et du Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement (Criobe)², il a monté un élevage pour comprendre comment apparaissent les bandes blanches et le rôle de celles-ci dans l'organisation sociale des poissons-clowns. Les résultats de leurs recherches³ ont permis d'élucider certains mystères liés à l'évolution, au développement ou au mode de vie de ces poissons coralliens.

PAR ROMAIN HECQUET

FICHE D'IDENTITÉ



A. EPHIPIUM

A. FRENATUS

A. BICINCTUS

A. OCELLARIS

NOM : *Amphiprioninae*

FAMILLE : pomacentridés

GENRE : *Amphiprion*

NOMBRE D'ESPÈCES :
environ 28, dont
Amphiprion ocellaris, l'une
des plus connues, à laquelle
Nemo appartient

LIEUX DE VIE :
lagons et récifs coralliens,
zone Indo-Pacifique et
mer Rouge

ESPÉRANCE DE VIE :
de 30 à 50 ans

UNE APPARITION JUVÉNILE

Avant d'avoir de jolies bandes blanches, les larves de poissons-clowns devront attendre de se métamorphoser en juvéniles. C'est en effet seulement à ce stade de leur développement qu'apparaissent les bandes. Cela correspond à la phase de recrutement, lorsque les jeunes poissons aux couleurs chatoyantes se mettent en quête d'une anémone de mer où s'abriter pour passer le reste de leur existence. L'équipe de Vincent Laudet a également remarqué que ces bandes surviennent toujours dans le même ordre : de la tête vers la queue, en passant par le tronc. Elles respectent ainsi quatre patrons : aucune bande ; une bande sur la tête ; 2 bandes, une sur la tête et une sur le tronc ; 3 bandes, une sur la tête, une sur le tronc et une sur la queue. Quel est le déclencheur de leur arrivée avec une telle précision ? La réponse se trouve du côté des hormones, notamment les hormones thyroïdiennes, qui contrôlent la métamorphose chez les mammifères. Reste à déterminer les gènes qui influencent ces phénomènes.

▼ DES ADULTES EN PERTE DE BANDE

Au cours du développement, il arrive que des juvéniles perdent des bandes en passant au stade adulte. « Chez *A. frenatus*, le juvénile possède deux ou trois bandes alors que l'adulte n'en a plus qu'une », commente Pauline Salis, post-doctorante à l'Observatoire océanologique de Banyuls-Sur-Mer. Cette transformation se fait dans l'ordre inverse du développement : de la queue vers la tête, en passant par le tronc. « Cela suggère qu'il existe un système contraint par la polarité antéropostérieure du corps (la répartition des organes le long de l'axe tête-queue) qui contrôle le nombre de bandes. »

▼ L'ORDRE SOCIAL

Chez les poissons-clowns, on ne rigole pas avec la hiérarchie. Au sein de l'anémone de mer, lieu de vie des poissons-clowns, la structure sociale est dominée par une grosse femelle. Celle-ci défend l'anémone des petits prédateurs. Suivent un mâle plus petit, ainsi que plusieurs juvéniles classés par taille décroissante, formant une file d'attente. Lorsqu'une nouvelle recrue arrive, elle se positionne à la queue. « Mais il peut arriver que la femelle se fasse croquer, par exemple par un mérou. » Le rôle de la femelle serait alors pris par le plus gros mâle. On parle d'hermaphrodisme successif. Dans la même logique, le premier juvénile dans la file d'attente se transformerait donc en mâle, puis chacun avancerait ainsi d'un cran dans la file d'attente. Mais gare à ceux qui voudraient resquiller : si le premier juvénile voit que le 3^e, par exemple, grandit trop, il va l'attaquer, voire l'expulser de l'anémone. Le livrant à une mort certaine...

▼ ATTENTION FRAGILE !

Pouvez-vous imaginer un récif sans anémones de mer ? », interroge Vincent Laudet. Dans une étude⁴, des chercheurs du Criobe alertaient de l'affaiblissement de la fécondité des poissons-clowns. En cause : le blanchissement des anémones de mer, au même titre que les coraux. « Si les jeunes recrues ont le choix, elles auront plutôt tendance à choisir une anémone non blanchie. Si celles-ci se mettent toutes à blanchir à cause du réchauffement climatique, elles vont mourir tout comme les poissons-clowns », explique Vincent Laudet. Autre danger : les insecticides, qui peuvent affecter la métamorphose des poissons-clowns et des poissons coralliens en général. C'est par exemple le cas du chlorpyrifos, pesticide qui altère la réponse aux hormones thyroïdiennes en modifiant la transformation de la larve en juvénile.

▼ TOUS DIFFÉRENTS

0, 1, 2, 3... bandes blanches : tous les poissons-clowns n'en ont pas le même nombre. Tout dépend de l'espèce à laquelle ils appartiennent. Ainsi, comme l'explique Vincent Laudet, « lorsque des poissons-clowns de différentes espèces cohabitent dans une anémone de mer, ils ont toujours un nombre de bandes différent. Nous pensons que les bandes les aident à se différencier, c'est-à-dire qu'elles sont utiles à la reconnaissance interspécifique ».



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

1. Unité CNRS/Sorbonne Université. 2. Unité CNRS/École pratique des hautes études/PSL Université/Université de Perpignan Via Domitia. 3. « Ontogenetic and Phylogenetic Pimplication during white Stripe Evolution in Clownfishes », Vincent Laudet *et al.*, *BMC Biology*, septembre 2018. 4. « Cascading Fitness Effects of Thermally-Induced Anemone Bleaching on Associated Anemonefish Hormonal Stress Response and Reproduction », R. Beldade *et al.*, *Nature Communications*, octobre 2017.

La 5G en mal de sécurité

NUMÉRIQUE

Informatique. Avec un débit dix fois supérieur à celui de la 4G, la 5G fait rêver. Mais avant que ce bolide ne débarque dans nos mobiles en 2020, il reste un point crucial à améliorer : la sécurité.

PAR MARTIN KOPPE

Avec des pointes prévues à 20 gigabits par seconde, la tempête 5G devrait atteindre nos téléphones en 2020. Les utilisateurs se réjouissent de l'approche de cette cinquième génération de standard de télécommunication mobile qui, avec des débits jusqu'à dix fois plus rapides que la 4G, promet de s'adapter à des usages nomades toujours plus gourmands en données.

Alors que ce standard est encore en cours de conception au 3GPP¹, organisme qui regroupe des représentants d'industriels et d'opérateurs téléphoniques, différentes équipes de recherche profitent de cette phase d'élaboration pour tester et renforcer la future norme.

Ainsi, au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (Loria)², Jannik Dreier et ses collègues proposent différentes pistes d'amélioration. « *Le 3GPP met surtout en avant la hausse du débit, explique ce maître de conférences à Télécom Nancy, mais les protocoles changent aussi à chaque nouvelle génération, notamment en matière de sécurité.* »

Des failles anciennes

En collaboration avec les chercheurs de l'École polytechnique fédérale de Zurich et de l'université de Dundee en Écosse, Jannik Dreier a souligné la survivance de failles de sécurité dans la nouvelle norme 5G, lors de la

conférence CCS³ de Toronto, en octobre 2018. « *La téléphonie mobile a hérité de points faibles qui remontent à son tout premier protocole d'identification, déplore-t-il. Toute la sécurité repose sur les cartes SIM, où sont stockées les clés d'identifications partagées avec les réseaux.* » Les problèmes de sécurité sont inhérents aux technologies sans fil car, contrairement à un transport de données confiné dans un câble, rien ne protège les informations quand elles transitent par la voie des airs.

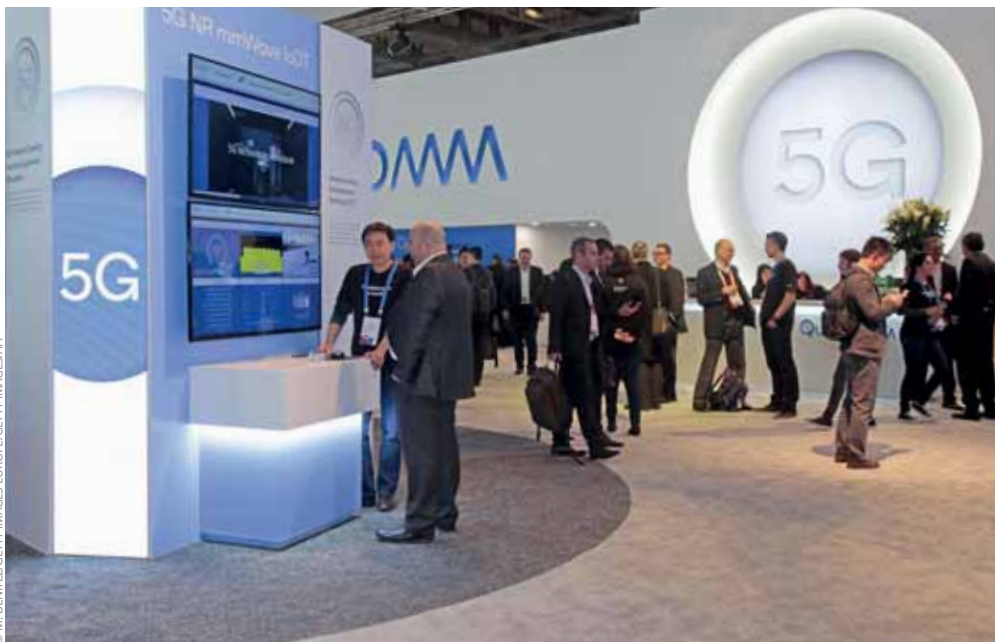
Utilisateur suivi à la trace

La sécurité passe donc par la capacité du téléphone et du réseau à s'identifier et à s'authentifier lors de la connexion. Dans le même temps, toutes les informations personnelles et les données du détenteur de la ligne téléphonique doivent être préservées. Mais le système n'est pas parfait. Jannik Dreier pointe ainsi les risques de traçabilité de l'utilisateur lorsqu'on peut identifier puis suivre le téléphone. Une opération encore aujourd'hui aisément réalisable avec la 4G, grâce à des appareils comme les intercepteurs Imsi⁴ qui scrutent les échanges entre le téléphone mobile et les antennes-relais du réseau pour pister leur cible.

« *La 5G va régler le problème face à un intercepteur passif, qui ne fait qu'écouter, détaille Jannik Dreier. Mais si quelqu'un injecte des messages dans la communication entre le téléphone et l'antenne du réseau, ce qui est relativement facile, alors il peut à nouveau tracer le mobile et son utilisateur.* »

Là encore, c'est l'architecture historique des téléphones mobiles qui est en cause. Comme les premières cartes SIM ne pouvaient pas

▲ L'année dernière, au Congrès mondial du mobile, à Barcelone, la 5G était à l'honneur.



© M. BENITEZ/GETTY IMAGES/EUROPE/GETTY IMAGES/APP

1. Pour 3rd Generation Partnership Project, « Projet de partenariat de troisième génération ». 2. Unité CNRS/Université de Lorraine/Inria. 3. Pour Computer and Communications Security, « Sécurité des ordinateurs et des communications ». 4. Pour International Mobile Subscriber Identity, « Identifiant international de client mobile ». 5. Pour Center for It-Security, Privacy & Accountability, « Centre pour la sécurité, la vie privée et la responsabilité informatiques ». 6. Pour Authentication and Key Agreement, « Accord sur les clés d'authentification. »

▲ Des antennes-relais permettent de tester la 5G en conditions réelles, comme ici en Allemagne.

générer de valeurs aléatoires, tout reposait et repose toujours sur un système de compteur. Conçu pour ne pas recevoir plusieurs fois un même message, celui-ci réagit quand il est sollicité.

« Pourtant, les cartes d'aujourd'hui pourraient s'en passer, car elles peuvent générer des valeurs aléatoires, déplore le chercheur, mais apparemment les décideurs n'ont pas voulu changer le standard aussi profondément. Les outils exploitant la traçabilité sont notamment utilisés par la police et les services de renseignement. Ils leur permettent de savoir qui était à proximité d'une scène de crime, mais aussi d'une manifestation. C'est très pratique pour eux, mais engendre un risque de surveillance de masse », poursuit-il. Difficile en effet de ne pas craindre de dérives, sans même compter le détournement par des criminels, quand les deux tiers de la population mondiale utilisent un téléphone portable.

Appels facturés à autrui

Conçu en partenariat avec l'École polytechnique de Zurich, le Loria et le Cispa⁵ de Sarrebruck, l'outil de modélisation Tamarin permet d'analyser la fiabilité d'un protocole donné. Jannik Dreier et ses collègues ont ainsi testé la version adaptée à la 5G d'AKA⁶, le protocole de sécurité implémenté depuis la 3G que le 3GPP veut continuer d'améliorer. « On ne fait pas que dénicher des failles et nous ne cherchons pas qu'à casser, souligne Jannik Dreier. Nous procédons à des vérifications formelles afin d'améliorer la sécurité. »

Si le protocole ne contient pas de faille, Tamarin établit alors une preuve mathématique de sa sécurité. En revanche, en cas de problème, l'outil génère une description de l'attaque identifiée. Les chercheurs ont ainsi découvert un défaut pouvant amener à une situation où les appels



© O. BERG/DPADPA PICTURE-ALLIANCE/APP

sont facturés à quelqu'un d'autre, si deux téléphones sont utilisés en même temps et à proximité.

Logiciel à améliorer

« Même si cette faille est probablement difficile à exploiter en pratique, elle n'est pas exclue par le standard. Nous avons envoyé ces résultats au 3GPP et ils nous ont fait un premier retour assez bref, précise le chercheur. Le processus prend en effet du temps, car il passe par des réunions physiques, des propositions, puis, enfin, un vote. Nous ne faisons pas partie de ces instances, cela reste leur choix de modifier ou non le protocole. »

Malgré l'approche de l'échéance de 2020 et l'arrivée officielle de la 5G, de nombreuses améliorations peuvent encore être apportées, surtout au niveau logiciel. Les chercheurs du Loria travaillent d'ailleurs à adapter des outils tels que Tamarin, afin que les ingénieurs puissent s'en servir dès la conception.

La partie matériel et équipement est en revanche très difficile à changer une fois celui-ci produit et déployé. « Les problèmes de traçabilité ne vont malheureusement pas être réglés uniquement avec ce genre de petits changements, insiste Jannik Dreier. Il faudrait tout simplement arrêter d'utiliser un compteur dans les cartes SIM, mais cela exigerait une refonte totale du protocole... »



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

En bref

LE BILAN SOCIAL ET PARITÉ 2017

L'édition 2017 du Bilan social et parité du CNRS est en ligne. Ce document, téléchargeable sur le site du CNRS mais aussi consultable sur tablettes et Smartphones au format (Epub), présente l'essentiel des informations relatives aux personnes titulaires et contractuelles employées par le CNRS en 2017. Le Bilan social et parité offre une information statistique complète sur l'ensemble des personnels rémunérés par le CNRS, chercheurs comme ingénieurs et techniciens, permanents comme contractuels.

1 <http://www.cnrs.fr/fr/documentation>. 2 Pour Electronic Publication.

DEUX ACCORDS AVEC LA BIBLIOTHECA ALEXANDRINA

Le 28 janvier, deux accords ont été signés entre le CNRS, la Bibliotheca Alexandrina, à Alexandrie, en Égypte, et le ministère français de l'Europe et des Affaires étrangères. Ces accords portent sur le programme des archives de presse du Centre d'études et de documentation économiques, juridiques et sociales (Cedej) (CNRS/ministère des Affaires étrangères) et sur la numérisation d'une partie de sa bibliothèque. Le Cedej fait partie du réseau des unités mixtes des instituts français de recherche à l'étranger (Umifre).

LA PLATEFORME TEMPOS INAUGURÉE

C'est une plateforme unique de microscopie électronique, baptisée Tempos³, qui a été inaugurée le 18 décembre 2018, à Orsay. Financé dans le cadre d'un Equipex (Équipement d'excellence), ce projet est porté par l'Université Paris-Sud, le CNRS, l'École polytechnique et le CEA. Les industriels Saint-Gobain et Thales sont également impliqués, à travers leurs départements R&D. Cette plateforme permettra d'étudier les propriétés des nanomatériaux : de leurs mécanismes de croissance à leurs propriétés physiques aux échelles les plus locales. Pour cela, elle se compose de deux équipements dédiés à l'étude de la croissance et de la physique des nano-objets, Chromatem et Nanomax, complétés par une installation de microscopie électronique, Nanotem.

3 Pour Transmission Electron Microscopy.



© C. FRESILLON/CNRS PHOTO THÈQUE

VIVANT  TERRE 

Environnement. Alors que la COP 24 s'est tenue en Pologne en décembre dernier, l'initiative 4p1000, lancée en 2015, lors de la COP 21 à Paris, continue de mobiliser les scientifiques. Le but : stocker un peu plus de carbone dans le sol pour réduire le CO₂ atmosphérique.

PAR MARTIN KOPPE

Enterrer le carbone pour soulager l'atmosphère

Est-ce qu'on stockait davantage de carbone dans les sols pour alléger l'atmosphère d'une partie de son CO₂ ? L'initiative 4p1000 encourage ainsi des actions pour accroître de 0,4 % par an, soit 4 pour 1 000, la capture du carbone dans les quarante premiers centimètres de profondeur du sol grâce à certaines pratiques agroécologiques. Lancée le 1^{er} décembre 2015 lors de la 21^e Conférence des parties à la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP 21) à Paris, cette initiative est soutenue par plus de 250 partenaires issus de 39 pays.

Pourquoi 0,4 % ? Cela correspond à environ 80 % de l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ sur l'année 2017, soit 6 milliards de tonnes par an. Sachant que les sols renferment déjà 1 500 milliards de tonnes de carbone sous forme de matière organique, atteindre cet objectif aiderait donc à compenser la hausse continue des émissions de carbone d'origine anthropique (c'est-à-dire provoquée par l'action des êtres humains).

Des sols plus fertiles et plus stables

Thierry Heulin, membre du comité scientifique de 4p1000, a travaillé sur « l'utilisation de plantes cultivées pour augmenter les interactions avec les bactéries de la rhizosphère et par là même le stockage du carbone dans le sol ». Directeur du laboratoire Eccorev¹, il souligne le double objectif de 4p1000 : lutter contre le changement climatique tout en assurant la sécurité alimentaire. En effet, cette augmentation du taux de carbone dans les sols les rend plus fertiles et plus stables face à l'érosion, contrairement à l'évolution des pratiques agricoles qui a conduit à l'appauvrissement de certaines terres.

Des lignées de mil ont ainsi été étudiées au Laboratoire d'écologie microbienne de la rhizosphère et d'environnements extrêmes², en collaboration avec l'Institut de recherche pour le développement de Montpellier et de Dakar, pour leur capacité à structurer le sol autour de

Le rendement du blé en France est passé de 20 quintaux à l'hectare après-guerre à 100 quintaux aujourd'hui.

RHIZOSPHERE
Zone du sol voisine des racines des plantes, où se concentrent les micro-organismes.

leurs racines, grâce à l'activité de bactéries. Celles-ci transforment les sucres simples, hydrates de carbone exsudés par les racines, en polysaccharides, sucres complexes et plus stables qui favorisent le stockage du carbone dont ils sont composés. La matière organique carbonée ainsi créée dans le sol permet aussi de mieux retenir l'eau, indispensable à la croissance des plantes.

La sélection de variétés plus rustiques, ce qui améliore leur architecture racinaire et le microbiote associé, devient ainsi un véritable enjeu. « Le rendement du blé en France est par exemple passé de 20 quintaux à l'hectare après-guerre à 100 quintaux aujourd'hui, commente Thierry Heulin. La sélection des plants s'est faite essentiellement sur le critère du rendement. » Les chercheurs espèrent donc aujourd'hui influencer les choix des agriculteurs, tout en restant conscients des difficultés. « Nous, biologistes, pensons toujours avoir la bonne solution, mais nous ne sommes pas à l'abri d'une "fausse bonne idée", avoue-t-il. Les solutions doivent être proposées en consultation avec les acteurs du terrain. »

Une gestion adaptée

« Nous espérons que l'effort de recherche associé sera soutenu par de grands programmes incitatifs », insiste Thierry Heulin. C'est le propos de l'appel de Sète lancé en novembre 2018 par les chercheurs du programme. Cornelia Rumpel³, présidente du comité scientifique et technique de l'initiative 4p1000, fait aussi partie des 50 signataires de cet appel. « J'ai étudié pendant vingt ans



1. Pour Écosystèmes continentaux et risques environnementaux (CNRS/Aix-Marseille Université). 2. Unité CNRS/CEA/Aix-Marseille Université. 3. Cornelia Rumpel est aussi directrice de recherche CNRS à l'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (CNRS/IRD/Univ. Paris-Est Créteil Val-de-Marne/Inra/Univ. Paris-Diderot/Sorbonne Université). 4. Unité CNRS/Bureau de recherches géologiques et minières/Univ. d'Orléans. 5. Agathe Euzen est aussi directrice de recherche CNRS au Laboratoire techniques, territoires et sociétés (CNRS/École des Ponts ParisTech/Univ. Paris-Est Marne-la-Vallée).



© L. GRANDGUILLOT/REA

les processus de stabilisation et de séquestration du carbone dans le sol, explique-t-elle. Maintenant que l'on connaît à peu près bien ces mécanismes, il est temps d'agir. » Elle insiste sur le besoin d'adapter les méthodes aux nombreux climats, écosystèmes et aux différentes pratiques agricoles. Avec environ 570 millions de fermes et plus de 3 milliards de ruraux dans le monde, difficile en effet d'espérer qu'une poignée de solutions conviendrait à tous. Or l'initiative 4p1000 compte aussi toucher les zones humides, les forêts, les aires protégées, etc.

Parmi les solutions, Cornelia Rumpel cite la gestion des déchets organiques, en particulier une réutilisation renforcée des déchets ménagers. Le biochar participe ainsi à stabiliser les substances organiques dans le sol quand il est associé à du compost. L'emploi d'engrais plus verts contribuerait parallèlement à réduire les émissions de protoxyde d'azote. À masse égale, l'effet de serre de ce gaz est trois cents fois plus fort que celui du CO₂.

L'échange entre agriculteurs et chercheurs

« On ne connaît pas parfaitement le détail du cycle du carbone, de l'azote et des autres éléments dans le sol », précise Cornelia Rumpel. Et avant d'augmenter le stockage, mieux vaut d'abord tenter de le maintenir. Les plus grands stocks de carbone se trouvent ainsi dans les tourbières. « Elles ne représentent que 3 % de la surface des terrains mondiaux, mais emmagasinent le tiers du carbone des sols. Or elles passent de l'état de puits de carbone à celui d'émettrices, 4p1000 doit aider à les protéger et à mieux les comprendre », commente Fatima Laggoun, directrice de recherche à l'Institut des sciences de la Terre d'Orléans⁴ et directrice adjointe scientifique de l'Institut des sciences de l'Univers du CNRS. « Mais



Lire l'intégralité de l'article sur [lejournal.cnrs.fr](https://www.lejournal.cnrs.fr)

Le site de 4p1000

» <https://www.4p1000.org/fr>

Le site de l'appel de Sète

» <https://4p1000sete2018.sciencesconf.org>



© M. SIBILONI/AFAP

Obtenu à partir de déchets ménagers, le biochar associé à du compost permet de stabiliser les substances organiques dans le sol.



© C. FRESILLON/ISTOCK/PHOTOTHÈQUE

Premier du genre, ce dispositif permet de mesurer les émissions de gaz à effet de serre de la tourbière de la Guette (Cher). Les tourbières renferment un tiers du stock de carbone des sols mondiaux.

BIOCHAR

« Charbon biologique » obtenu par pyrolyse de la biomasse (décomposition chimique grâce à une augmentation de sa température).

nous avons besoin de davantage d'études interdisciplinaires, poursuit Cornelia Rumpel. L'environnement socio-économique doit aussi être pris en compte. »

Agathe Euzen⁵, directrice adjointe scientifique de l'Institut écologie et environnement du CNRS et membre du conseil scientifique de 4p1000, partage cet avis. « Les scientifiques doivent aussi considérer les perceptions des acteurs et leurs relations au territoire, leurs spécificités sociales et culturelles dès l'amont des projets. Cela est nécessaire pour leur réussite et leur appropriation dans la pratique par les agriculteurs. »

Outre la question du climat et des lieux, l'agriculture connaît aussi des changements d'échelle extrêmes : parcelle vivrière, exploitation industrielle, politiques agricoles nationales et au-delà... « L'adhésion des acteurs passe par la connaissance de la diversité des pratiques culturelles selon les contextes, les enjeux environnementaux et socio-économiques locaux, insiste Agathe Euzen. Le dialogue favorise l'échange de connaissances entre agriculteurs et chercheurs, c'est ainsi que le dispositif pourra être soutenable, équitable et viable, et être envisagé comme l'une des solutions possibles pour répondre aux objectifs de l'Accord de Paris sur le climat », conclut-elle. ■

POINT DE VUE

La chimie voit « more than Moore »



Par Laurent Cario, directeur de recherche au CNRS à l'Institut des matériaux Jean Rouxel¹

Les microprocesseurs que nous utilisons reposent sur la technologie dite « CMOS » (de l'anglais *Complementary Metal Oxide Semiconductor*) qui emploie des métaux, comme le cuivre, des oxydes, comme la silice, et des semi-conducteurs, comme le silicium. Jusqu'à présent, le développement de la microélectronique s'appuyait surtout sur la miniaturisation des composants, tel le transistor, réalisés à partir de ces matériaux.

Cette miniaturisation, qui a permis l'augmentation de la puissance des microprocesseurs de nos ordinateurs, est connue sous le nom de « loi de Moore ». Gordon Moore, l'un des fondateurs de la compagnie Intel, fut le premier à prédire que le nombre de transistors contenus dans les microprocesseurs doublerait environ tous les deux ans. Mais plusieurs études prédisent la fin imminente de cette loi puisque les transistors atteignent leur limite physique de miniaturisation.

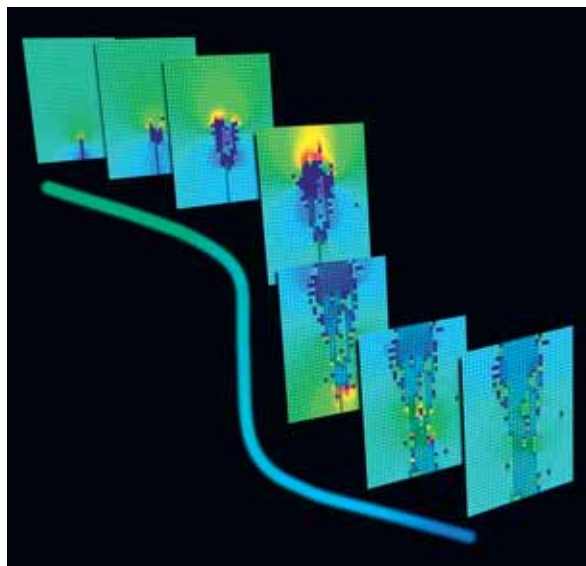
Les mémoires alternatives

Les stratégies mises en place pour pallier ce problème, connues sous le nom de « more than Moore », consistent à changer d'architecture et à rechercher de nouveaux matériaux plus performants. Ici la chimie est à l'œuvre pour reproduire, avec des matériaux uniques et miniaturisables, les fonctionnalités complexes des dispositifs microélectroniques. Ainsi mémoires et intelligence artificielle pourraient bientôt faire appel à de nouveaux matériaux.

Dans le domaine des mémoires, la technologie Flash est la plus répandue pour le stockage de masse. Elle est fondée sur l'utilisation de transistors à double grille qui ont atteint leur limite de miniaturisation. Pour les remplacer, les acteurs du secteur (Intel, Micron, Samsung, STMicroélectronique...) se tournent vers des matériaux qui permettent le codage de l'information sous forme binaire.

Parmi les mémoires émergentes, certaines utilisent des matériaux dits « ferroélectriques » ou « ferro-magnétiques » codant l'information grâce au retournement de l'orientation de la polarisation électrique ou

▲ *Vue artistique de la transition de Mott. Elle montre comment un filament métallique se crée sous l'action d'une impulsion électrique.*



© L. CARIO, P. STOLARSKIN

de l'aimantation. D'autres recourent à des composés qui commutent entre deux états de résistance. Par exemple, les composés à changement de phase, utilisés dans les disques laser réinscriptibles et présentant une phase amorphe isolante et une phase cristalline métallique. Ou encore des matériaux oxydes où le changement de résistance provient de la migration de l'oxygène sous l'action du champ électrique.

Enfin, c'est le cas des isolants de Mott que nous étudions dans mon équipe à l'Institut des matériaux Jean

Rouxel. Ces matériaux présentent un phénomène de claquage sous champ électrique, montrant des analogies avec l'apparition d'un éclair lors d'un orage, et qui peut provoquer la commutation entre deux états de résistance. Il est encore difficile de prédire lesquelles de ces mémoires s'imposeront, mais ces nouveaux matériaux pourraient être introduits dans des dispositifs grand public dès cette année.

IA en quête de neurones

Par ailleurs, l'intelligence artificielle fait de plus en plus appel à de nouvelles architectures d'ordinateur plus efficaces pour le traitement de certaines tâches liées aux données massives (big data), comme la classification ou la reconnaissance. L'architecture alternative actuellement la plus employée s'inspire de celle du cerveau des mammifères et vise à reproduire un réseau interconnecté de synapses et de neurones. Là encore, des matériaux aux propriétés non conventionnelles sont recherchés pour réaliser des neurones et des synapses artificiels miniaturisables. Cette recherche bio-inspirée bat actuellement son plein. Il a déjà été montré que des morceaux nanométriques d'oxydes appelés Memristors peuvent mimer le comportement des synapses alors que des couches minces d'isolants de Mott peuvent reproduire les fonctionnalités majeures des neurones.

Ainsi, la chimie des matériaux, qui pendant des années n'a eu qu'un faible impact sur le développement de la microélectronique, pourrait s'imposer comme un point clé de l'électronique de demain. II



Lire l'intégralité de l'article sur notre blog « Matière à penser », sur lejournal.cnrs.fr

Lire l'article « Demain, un ordinateur inspiré de notre cerveau ? » ainsi que le dossier : « Comment l'intelligence artificielle va changer nos vies » sur lejournal.cnrs.fr

1. CNRS/Université de Nantes.

LES IDÉES

A portrait of a young man with short brown hair, wearing a dark suit jacket, a white shirt, and a dark tie with white polka dots. He is looking directly at the camera with a slight smile. Overlaid on his face and the background is a complex, colorful geometric structure made of sticks or thin rods. The sticks are in various colors including blue, green, purple, pink, yellow, and light blue. They are arranged in a way that creates a series of overlapping triangles and other geometric shapes, partially obscuring the man's face.

*Quand notre mémoire livre
de nouveaux secrets
et que notre incarnation virtuelle
pose questions.*

ILLUSTRATION : JULIE COCKBURN POUR CNRS LE JOURNAL

Neurosciences. Contrairement à ce que pensaient les scientifiques, il suffit de quelques secondes pour qu'un souvenir se forme. Et une fois enregistré, il peut être modifié ou inaccessible, mais il ne s'efface pas. Explications avec Pascale Gisquet-Verrier et David Riccio dont les travaux reviennent sur le dogme de la consolidation des souvenirs.

Nos souvenirs, c'est pour la vie!



Par Pascale Gisquet-Verrier, neuroscientifique, et David Riccio, professeur de psychologie.¹

Avoir la mémoire qui flanche, cela peut arriver à n'importe qui... oui mais pourquoi? Depuis les années 1960, un modèle domine la littérature en neurosciences pour expliquer le stockage des souvenirs : l'hypothèse de la consolidation, devenue véritable dogme. Selon celui-ci, une information ne se fixe pas immédiatement dans notre mémoire, mais progressivement : elle se fait par étapes longues et complexes. Si on interrompt ce processus, en perturbant l'activité cérébrale, l'« enregistrement » d'un souvenir tout frais serait compromis... Nos récents travaux² montrent que ce dogme mérite une sérieuse révision.

Nous avons étudié l'ensemble des publications ayant conduit au modèle de la consolidation, à commencer par celles des années 1960. Nombre d'entre elles exposent des expériences menées sur les animaux (rats, souris, etc.) auxquels on administre des traitements perturbant le fonctionnement cérébral (des électrochocs ou un produit anesthésique par exemple) juste après les avoir poussés à apprendre quelque chose, comme trouver le bon chemin dans un labyrinthe. Résultat : le traitement conduit à une amnésie d'autant plus forte qu'il est délivré dans un délai court après l'apprentissage. En revanche, si le délai dépasse une à deux heures, le souvenir n'est pas

perturbé du tout. L'interprétation proposée alors fut que tout souvenir est fragile pendant une à deux heures après sa formation et que sa fixation peut être compromise par des traitements délivrés pendant cette phase dite de « consolidation ».

La madeleine de Proust

Plus tard, dans les années 1980-1990, les recherches se sont focalisées sur les bases biologiques de ce modèle de consolidation. Les neurones du cerveau et les molécules échangées au niveau des synapses (boutons de connexions, plus ou moins fortes, entre les neurones) y jouent un rôle capital. Les travaux de cette époque ont en effet conclu que les cascades moléculaires qui se mettent en place après un apprentissage conduit à l'établissement d'un réseau neuronal largement distribué dans le cerveau et stabilisé grâce à l'élaboration de nouvelles protéines permettant la création de nouveaux contacts synaptiques. En conséquence, ce réseau, aux contacts synaptiques renforcés par la consolidation, serait bien le substrat biologique des souvenirs.

Dans les années 2000, des études ont suggéré l'existence d'un processus similaire appelé reconsolidation. Celui-ci prend place lors du rappel de souvenirs anciens : une odeur, la vue d'un détail, un goût particulier (comme celui des madeleines pour Marcel Proust...), etc. réactiverait certains souvenirs et permettrait leur mise à jour. Cela signifie que lorsqu'un souvenir, déjà consolidé, est réactivé, il redeviendrait fragile et modifiable avant d'être restabilisé (reconsolidé) dans la mémoire. Selon ce dernier scénario, il serait même possible, via des agents amnésiants (électrochocs, substances pharmaceutiques, etc.) d'effacer des souvenirs anciens, ce qui a fait

▼ Dans le film *Eternal Sunshine of the Spotless Mind* (Michel Gondry, 2004), le personnage interprété par Jim Carrey fait appel à une étrange clinique spécialisée dans l'effacement des souvenirs...



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

Visionner la vidéo « Je me souviens donc je me trompe » sur www.youtube.com

Lire aussi nos articles : « La fabrication du souvenir » et « Dans la tête de Dory, le poisson amnésique » sur lejournal.cnrs.fr

entrevoir des espoirs thérapeutiques notamment pour des souvenirs pathologiques comme les troubles de stress traumatique³.

La dépendance de l'état

C'est ce modèle de consolidation/reconsolidation que notre étude remet en question. En synthétisant et complétant différents résultats précédents, celle-ci montre que les données de la littérature scientifique sur lesquelles repose cette hypothèse n'ont pas été analysées correctement. Dans ces expériences, on constatait aussi qu'administrer une deuxième fois le traitement censé perturber la consolidation produisait un résultat inattendu : aucune amnésie n'était plus constatée !

Ce second traitement est donné juste avant de tester l'animal pour

Comment se fait-il qu'on ne l'ait pas découvert plus tôt ? Cette hypothèse a été formulée il y a très longtemps, mais elle n'a pas été retenue tant le scénario de la consolidation était cohérent et populaire. Surtout, il faisait parfaitement écho aux premières études sur les bases cellulaires et moléculaires de l'apprentissage et sur le modèle de **plasticité synaptique** (la potentialisation à long terme), découvert à la même époque. Une autre raison pour laquelle cette hypothèse n'a pas été retenue est que, contrairement aux études sur la dépendance de l'état, dans le cas de l'amnésie, la drogue est administrée après l'apprentissage et non avant.

Des souvenirs malléables

Il faut donc admettre qu'une des grandes caractéristiques des nouveaux souvenirs n'est pas leur fragilité mais leur malléabilité, c'est-à-dire leur capacité à intégrer des informations contemporaines de l'événement à mémoriser. Certains de ces événements, comme l'état induit par des drogues, sont tellement importants qu'en leur absence, le sujet n'est pas capable de retrouver le souvenir. Ce qui est très intéressant, c'est que cette période de malléabilité que l'on constate au moment de la formation du souvenir est également obtenue lorsque l'on réactive un souvenir ancien. C'est grâce à ce processus que l'on peut actualiser nos souvenirs, en ajoutant de nouvelles informations qui n'effacent pas les premières, mais viennent en complément.

Ce processus d'intégration fondé sur la malléabilité des souvenirs actifs (état des souvenirs pendant leur formation initiale et leur réactivation) constitue la caractéristique majeure de la mémoire et permet d'expliquer l'ensemble des modulations de souvenirs décrits dans la littérature comme l'amnésie expérimentale, l'interférence, les faux souvenirs et permet de nouveaux espoirs thérapeutiques que nous avons commencé à explorer avec succès.

Au final, le concept d'intégration que nous défendons modifie considérablement la donne. Selon celui-ci, la formation des souvenirs est très rapide (elle s'évalue probablement en secondes et non en heures). Elle ne dépend pas de la synthèse de nouvelles protéines. Les modifications synaptiques qui accompagnent la formation des souvenirs ne constituent pas le support de la trace mnésique, mais témoignent seulement de l'activité de la région. Les souvenirs ne sont pas fragiles et ils ne peuvent pas être effacés. Mais les souvenirs anciens peuvent être modifiés et rendus inaccessibles. Ce concept rend à la mémoire son caractère dynamique et flexible qui caractérise le fonctionnement cérébral. ||

“Une des caractéristiques des nouveaux souvenirs n'est pas leur fragilité mais leur malléabilité : leur capacité à intégrer des informations contemporaines de l'événement à mémoriser.”

PLASTICITÉ SYNAPTIQUE

Propriété que les synapses (connexion entre les neurones) ont de pouvoir se former ou disparaître, se renforcer ou s'affaiblir.

savoir s'il se souvient de ce qu'on lui a appris. Cela signifie que le souvenir existe bel et bien, mais que pour y avoir accès, il faut replacer le sujet dans le même état que celui dans lequel il se trouvait lors de l'enregistrement de ce souvenir. En somme, le traitement utilisé comme perturbant (drogue, électrochocs, etc.) « fait partie » du souvenir, ou plutôt : il modifie l'état du sujet et cet état est intégré au souvenir. C'est un phénomène bien connu appelé dépendance de l'état. On sait depuis longtemps que les informations acquises sous l'emprise de l'alcool ou d'une drogue sont mieux retenues lorsque le sujet est de nouveau sous l'influence de ces produits, qu'en leur absence.

1. Pascale Gisquet-Verrier, directrice de recherche, travaille à l'Institut des neurosciences Paris-Saclay (CNRS/Université Paris Sud/Université Paris-Saclay). David Riccio, professeur de psychologie, enseigne la psychologie à l'Université du Kent, dans l'Ohio. 2. « Memory integration: An alternative to the consolidation/reconsolidation hypothesis », *Progress in neurobiology*, P. Gisquet-Verrier, D. Riccio, décembre 2018, Vol. 171 : 15-31 (<https://tinyurl.com/souvenir-alternative-consolid>). 3. Ces expériences marchent très bien chez l'animal mais ne sont pas effectuées chez l'humain compte tenu de la toxicité de la plupart des traitements. Seul le propranolol (un bêtabloquant), a permis divers succès et est testé dans l'étude Paris MEM réalisée sur les personnes présentes lors de l'attentat du Bataclan (13 nov. 2015). Par ailleurs, notre équipe explore d'autres traitements chez l'animal et chez l'humain, en collaboration avec le service de psychiatrie de l'hôpital Saint-Antoine, à Paris, avec de premiers résultats très encourageants.



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



Le SI reprend sa température

Par Christophe Daussy,
physicien¹.

À la différence du degré Celsius (°C) que nous utilisons dans la vie courante, le kelvin (K) est une mesure absolue de la température. Cette échelle a été introduite au milieu du XIX^e siècle et repose sur le fait qu'il existe une limite inférieure à toute température, le zéro absolu. Au lieu de fixer un zéro arbitraire comme c'est le cas pour l'échelle Celsius (avec la température de la glace fondante), le zéro de l'échelle kelvin est un zéro absolu. La température en Celsius s'exprime en fonction de la température en kelvin par la relation suivante : $T_K = T_C + 273,15$. Une différence de température a donc la même valeur numérique en kelvin ou en Celsius (une variation de 1 K est strictement égale à une variation de 1 °C).

Une histoire de point triple

Le kelvin était défini depuis 1954 par un système physique particulier, le point triple de l'eau, ou TPW (pour *Triple Point of Water*). À ce point fixe fondamental, pour lequel les trois phases (liquide, solide et gaz) coexistent, était attribuée la température exacte de 273,16 K (équivalente à 0,01 °C). Définition problématique, car la température de cet état dépend de la composition isotopique de l'eau utilisée.

Depuis les travaux de Maxwell et Boltzmann au XIX^e siècle, on sait que la température peut aussi être définie au niveau microscopique comme une mesure de l'agitation des constituants de la matière. Plus précisément, pour un corps maintenu à la température T , l'énergie cinétique moyenne est proportionnelle à kT . Dans cette formule, k est la constante de Boltzmann, qui fait le lien entre énergie (exprimée en $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$) et température (exprimée en kelvin) : elle permet ainsi de définir le kelvin à partir des unités mécaniques. La nouvelle définition qui a été adoptée cet hiver

▼ Le thermomètre acoustique du LNE-Cnam/LCM développé pour déterminer la valeur de la constante de Boltzmann k .

consistera donc à fixer une valeur exacte pour la constante de Boltzmann plutôt que pour la température du TPW (T_{TPW}). Cela présentera plusieurs avantages :

- > Le kelvin ne dépendra plus d'une substance, d'une température ou d'une expérience particulière associée au TPW.
- > L'universalité et la stabilité à long terme de l'unité sont garanties par l'invariance des constantes universelles fixées dans le nouveau Système international.
- > Fixer la valeur de k n'impose aucune approche expérimentale ou objet matériel particulier pour la réalisation pratique de l'unité. Cette approche ouvre donc la possibilité de développer de nouvelles méthodes de thermométrie, toujours plus performantes, sans qu'il soit nécessaire de faire évoluer la définition du kelvin.
- > Cette indépendance vis-à-vis de T_{TPW} permettra une réduction des incertitudes des mesures à très basses et très hautes températures (respectivement inférieures à 20 K et supérieures à 1 300 K).



© LNE

La nouvelle unité de température permettra donc de meilleures mesures de température (plus simples, plus précises et plus stables à long terme) qu'elles soient exprimées en kelvin ou en degré Celsius.

Le Projet Boltzmann

Afin d'assurer la continuité, la traçabilité et de maintenir les performances des mesures de température, k a donc d'abord dû être déterminée expérimentalement avec une incertitude comparable à celle de l'ancienne réalisation du kelvin. Le Comité international des poids et mesures (CIPM) a pour cela considéré que deux critères devaient être satisfaits avant la redéfinition : d'une part, obtenir une incertitude relative sur la mesure de k inférieure à 1 partie par million (ppm) d'autre part, que la détermination de k soit obtenue par au moins deux méthodes différentes et avec pour chacune une incertitude relative inférieure à 3 ppm.

C'est dans ce but que le Projet Boltzmann a été lancé en 2007 avec le soutien de l'European Association of National Metrology Institutes (Euramet).

PARTIE PAR MILLION
Correspond à 10^{-6} ,
soit un millionième.

1. Christophe Daussy, travaille au sein de l'équipe Métrologie, molécules et tests fondamentaux du Laboratoire de physique des lasers (CNRS/Université Paris-13). Il est responsable des projets « Mesure de la constante de Boltzmann » et « Mise en pratique du kelvin » menés au Laboratoire de physique des lasers dans le cadre du nouveau Système international.

Deux laboratoires français ont pris part à cette collaboration internationale : le Laboratoire de physique des lasers (LPL) qui venait alors de démontrer une méthode originale pour mesurer k et le laboratoire commun de métrologie (LNE-Cnam), laboratoire de pointe dans le domaine de la thermométrie.

Notre projet a été développé au LPL sur la base d'une expérience de spectroscopie qui nous avait permis, dans les années 2000, de faire des mesures de fréquence par laser parmi les plus précises au monde. Le LNE-Cnam qui développait à cette époque une autre méthode pour mesurer k nous a apporté toute son expertise pour le contrôle et la mesure de la température de l'expérience. En 2007 nous avons publié nos premiers résultats, très rapidement repris pour monter des expériences en Italie et au Japon (2008), un peu plus tard en Australie et en Chine (2011).

Vers une nouvelle définition du kelvin

Après une décennie, les travaux menés au sein de 12 laboratoires répartis dans 8 pays, le projet Boltzmann a abouti en juillet 2017 à la détermination de la constante de Boltzmann $k = 1,38064903(51) \times 10^{-23} \text{ J/K}$: avec un niveau d'incertitude relative de 0,37 ppm. Cette mesure a été établie grâce à trois méthodes expérimentales différentes avec une incertitude inférieure à 3 ppm chacune. Les conditions requises pour pouvoir fixer la valeur numérique de k sont désormais remplies et la voie vers la redéfinition du kelvin est donc ouverte.

La nouvelle définition entrera en vigueur le 20 mai 2019 et elle s'appuiera sur la valeur de k obtenue dans le cadre du projet Boltzmann ainsi que sur les unités mécaniques (mètre, seconde et kilogramme). Des unités elles-mêmes définies à partir de trois autres constantes aux valeurs fixées exactement : la vitesse de la lumière c , la constante de Planck h et la fréquence de transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133. II

À lire

BANDES DESSINÉES

Rendre accessible des sujets de recherche soutenus par le Conseil européen de la recherche grâce à la bande dessinée (BD) : telle est l'ambition du projet ERCcOMICS, présent en janvier à Angoulême pour la 46^e édition du Festival international de bande dessinée. Chapeauté par Sorbonne Université et l'agence de communication la Bande Destinée, ce projet a donné naissance à dix-huit BD en ligne (en anglais), fruits de collaborations inédites entre scientifiques et dessinateurs. Par exemple, *Estrella* est inspirée du projet « Nanocosmos » qui se penche sur les poussières cosmiques ; *A cell's life* s'interroge sur les maladies de Parkinson et d'Alzheimer en lien avec le projet « iN-BraiN » ; et *You, Robot* questionne les relations entre humains et machines comme étudiées dans le projet « Social Robots ».



Estrella à découvrir dans « Bulles de science », sur lejournal.cnrs.fr

<https://www.erc comics.com>

PHYSIQUE

Quel est le point commun entre une bulle et une tempête de sable ? Entre le vol d'un oiseau et celui d'un Airbus ? Dans tous ces cas, on retrouve une relation que l'on peut écrire sous la forme d'une loi mathématique, indépendante de l'échelle considérée, appelée loi d'échelle. Dans cet ouvrage, le physicien Thomas Séon nous montre que si le monde naturel relève de la biologie, il se conforme aussi à des lois physiques et géométriques incontournables.

Les Lois d'échelle - La physique du petit et du grand, Thomas Séon, Odile Jacob, novembre 2018, 256 p., 22,90 €.



VIVANT

À travers 32 récits illustrés par 240 dessins originaux de Julien Norwood, cet ouvrage propose de découvrir comment, en explorant des territoires de la planète, l'humanité a découvert une diversité de paysages, d'animaux et de végétaux. Un cheminement de plus de 3 000 ans qui nous a fait prendre conscience qu'il fallait étudier, répertorier et préserver les espèces vivantes pour nous protéger.

L'Aventure de la biodiversité
De Ulysse à Darwin, 3 000 ans d'expéditions naturalistes,
Hervé Le Guyader, Belin, octobre 2018, 272 p., 40 €.

HISTOIRE

Le 24 juin 1984, en réaction au projet de loi de grand service public unifié et laïque de l'Éducation proposé par le gouvernement d'Union de la gauche dirigé par Pierre Mauroy, près d'un million de personnes défilent dans Paris à l'appel de l'opposition. François Mitterrand, président de la République élu en mai 1981, dont la cote de popularité vient de passer sous les 30 %, veut éviter une défaite de son parti aux élections législatives de 1986... Sur la base d'archives et d'entretiens souvent inédits, cet ouvrage collectif, écrit par des historiens et des spécialistes de science politique, retrace la seconde partie (1984-1988) du premier septennat de François Mitterrand.

Mitterrand. Les années d'alternance, Georges Saunier (dir.),
Le Nouveau Monde Éditions, janvier 2019, 880 p., 27 €.



S'incarner dans un corps virtuel



Lire aussi l'article « Peut-on se noyer dans le virtuel ? » sur lejournal.cnrs.fr

Par Bruno Arnaldi, Pascal Guitton et Guillaume Moreau, enseignants-chercheurs en informatique.¹

Qui ne s'est jamais imaginé avec le corps d'un autre ? Cette expérience étrange semble aujourd'hui à portée de main avec les techniques dites d'« incarnation virtuelle ». En effet, si la réalité virtuelle (RV) permet de changer de lieu ou de temps, elle peut également être mise à profit pour altérer la perception qu'on a de son corps à travers une illusion sensorielle : celle-ci correspond à l'interprétation la plus plausible effectuée par notre cerveau en présence de stimuli sensoriels reçus, en fonction de nos connaissances préalables du monde.

Si la situation virtuelle est la plus plausible, l'utilisateur ressent alors la sensation de s'incarner dans un autre corps, et un sentiment de présence au sein du monde virtuel dans lequel il peut interagir comme il le ferait dans la réalité. De quoi faire rêver les fans de jeux vidéo, mais pas seulement... Car le procédé se veut aussi thérapeutique – pour traiter phobies et douleurs chroniques, pour améliorer la perception et l'estime de soi, etc. – et scientifique, pour l'étude par exemple de nos comportements en fonction de notre apparence physique. Mais où en sommes-nous vraiment ? Quid des questions éthiques et des verrous techniques ?

Longtemps, les stimulations sensorielles en RV ont été incomplètes et conflictuelles, engendrant des situations inconfortables, comme le mal des simulateurs. Certains chercheurs ont alors tenté d'exploiter ces décalages en créant des ressentis pseudo-sensoriels, en s'appuyant en général sur un sens dominant, le plus souvent la vision.

▼ [Six Fingers](#), plateforme expérimentale sur l'incarnation virtuelle, permet d'étudier comment l'utilisateur assimile l'avatar de sa main droite munie d'un 6^e doigt.



Réalité virtuelle et réalité augmentée
B. Arnaldi, P. Guitton et G. Moreau (dir.), ISTE Éditions, 2018, 336 p.

Ces travaux ont eu des suites, impliquant différentes modalités sensorielles : audition, toucher, goût... Sans oublier la proprioception, ce sens méconnu qui nous permet de percevoir l'état statique et dynamique de notre corps. Ainsi, l'utilisation conjointe de stimulations sensorielles non conformes à la réalité et des visiocasques de RV qui masquent le corps de l'utilisateur permettent une nouvelle forme de pseudo-sensorialité appelée *embodiment* ou incarnation virtuelle. L'un des exemples les plus célèbres remonte à la fin des années 1990 : la *Rubber hand illusion*. Le participant voit une main en caoutchouc devant lui, sa propre main lui restant invisible.

L'expérimentateur stimule les deux mains de façon synchrone. Après un certain temps, le participant ne sait plus bien quelle est sa vraie main. Une stimulation forte (un coup par exemple) sur la main en caoutchouc entraîne une réaction de retrait de la main réelle comme s'il était agressé.

Questions d'éthique

Du point de vue éthique, ces approches ne sont pas sans soulever quelques questions complexes. Grâce aux progrès techniques effectués sur l'animation d'avatars, toutes formes d'illusions sont possibles : augmentation de la taille d'une jambe, ajout d'un sixième doigt,



1. Bruno Arnaldi est enseignant-chercheur à l'Insa Rennes, membre de l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (CNRS/Centrale Supélec/ENS Rennes/IMT Atlantique/Inria Bretagne-Atlantique/Insa de Rennes/Univ. Bretagne Sud/Univ. de Rennes-1) et du Centre Inria Rennes Bretagne Atlantique. Pascal Guitton est enseignant-chercheur à l'Université de Bordeaux, membre du Labri (CNRS/ Bordeaux INP Aquitaine/Univ. de Bordeaux/Inria) et du Centre Inria Bordeaux Sud-Ouest. Guillaume Moreau, enseignant-chercheur à l'École centrale de Nantes, est membre du Laboratoire AAU (CNRS/École nationale supérieure d'architecture de Grenoble/École nationale supérieure d'architecture de Nantes/Centrale Nantes) et membre associé Irisa-Inria Rennes.

d'une queue virtuelle... Jusqu'à concerner le corps dans son ensemble, avec l'incarnation de participants adultes dans un corps d'enfant, la modification de la couleur de la peau, etc.

Mais ces transformations peuvent induire des modifications de comportement. Par exemple, le changement virtuel de leur couleur de peau a conduit à une baisse des biais ethniques chez les participants à court comme à moyen terme. Quelques études vont encore plus loin encourageant le changement de comportement avec des objectifs thérapeutiques (faire plus d'exercices physiques, faciliter la prise de parole en public...). Des essais cliniques restent à mener pour en confirmer l'efficacité. Mais si celle-ci est avérée, jusqu'où sera-t-il acceptable de modifier l'apparence virtuelle d'un individu et, par suite, son comportement ?

Effets sanitaires de la RV

Ces expériences sont aujourd'hui effectuées à très court terme et le plus souvent après la validation d'un comité d'éthique, mais elles interrogent quant à leurs conséquences si elles devaient être utilisées sur des périodes plus longues, dans des structures moins encadrées ou dans le cadre d'expériences particulièrement marquantes, comme celles récentes de Mel Slater, chercheur à l'Université de Barcelone, sur les *near-death experience*, consistant à incarner un corps virtuel en fin de vie et dont le but est d'atténuer la peur de la mort.

Alors que l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail vient de lancer un groupe de travail sur les effets sanitaires de la RV, l'étude des conséquences de l'incarnation virtuelle sur la santé, le mode de vie et les comportements sociaux doit être une priorité. Car demain,

les dispositifs quitteront les laboratoires, où des professionnels préviennent et accompagnent les participants, et seront accessibles à un très grand nombre de personnes hors de tout cadre.

Verrous techniques

Si les questions éthiques sont de taille, les obstacles techniques n'en sont pas moins grands : la représentation du corps et sa déformation restent extrêmement difficiles. Dans un temps très limité, il faut procéder à une acquisition de mouvement du corps complet du participant, calculer les déformations éventuelles et réafficher le résultat. Tout délai ou manque de plausibilité du résultat est susceptible d'atténuer le sentiment de « présence ».

De plus, la stimulation sensorielle peut dépasser le cadre visuel : une représentation plus âgée de l'utilisateur pourrait par exemple induire une modification de la démarche. Or de nombreux progrès restent à faire, en matière de rendu graphique en temps réel des expressions du visage ou de la modélisation du comportement humain.

Autre défi posé par le sentiment de présence : comme ce ressenti est indispensable pour que l'expérience virtuelle soit vécue de manière réaliste par l'utilisateur, les scientifiques cherchent des moyens de l'évaluer à chaque instant et de manière plus objective... que ne le permettent les questionnaires utilisés jusqu'ici. Une des pistes serait d'effectuer des mesures physiologiques, avec des interfaces cerveau/ordinateur (fondées sur l'électroencéphalogramme).

Si ces techniques peinent encore à distinguer les signaux pertinents du « bruit », elles gardent la cote : certains envisagent même de les utiliser pour capter « à la source » les mouvements que souhaite effectuer l'utilisateur, plutôt que de recourir aux encombrantes combinaisons de capture du mouvement.

L'incarnation virtuelle concerne de nombreuses disciplines allant de l'informatique à la mécanique, en passant par les neurosciences, la psychologie, l'éthique et la philosophie. Gageons que c'est en les rassemblant qu'on pourra mieux appréhender cette notion fascinante... et en maîtriser les risques éventuels. II

À lire

SCIENCE-FICTION

Quel monde les technosciences pourraient offrir aux générations futures ? C'est le fil rouge

de cette anthologie de science-fiction proposée par le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS)¹, référence en sciences et technologies de l'information et de la communication, à l'occasion de ses 50 ans de recherches. Chacune des neuf nouvelles, signée par un écrivain reconnu, est suivie du commentaire d'un expert du LAAS. En passant ainsi les concepts des récits fictionnels à la moulinette de l'état de la recherche actuelle et des réflexions éthiques associées, ils apportent un contrepoint lumineux pour se remettre les idées en place. Au programme notamment : des robots genrés et leur indispensable intelligence artificielle, une désastreuse agriculture du futur et un prototype pour connecter les cerveaux.

Dimension technosciences @venir, Thierry Bosch, Jean-Claude Dunyach (dir.), Rivière blanche, octobre 2018, 323 p. 24 €.



1. Unité CNRS/Université fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées.

ÉVÈNEMENT

Le 1^{er} avril, le CNRS et la Société française de physique organisent la Nuit de l'antimatière.

Destinée au grand public, cette soirée festive se déroulera de 18 h 30 à 22 h 30 sur une dizaine de sites interconnectés en France, dont le Grand Rex à Paris. Tables rondes, conférences-débats, concours, quiz, visites de lieux emblématiques sont au programme pour tenter d'expliquer ce qu'est



l'antimatière, les questions majeures qu'elle soulève pour les scientifiques et les expériences que ceux-ci mettent en place.

Inscription obligatoire sur <http://www.cnrs.fr/fr/evenement/nuit-de-lantimatiere>

Libération

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



▲ Parvis des Droits de l'homme, place du Trocadéro à Paris, le 10 décembre 2008, à l'occasion du 60^e anniversaire de la Déclaration universelle des droits de l'homme.

Que reste-t-il de la Déclaration universelle des droits de l'homme ?

Par Dominique Rousseau,

directeur de l'Institut des sciences juridique et philosophique de la Sorbonne¹.

« *Serions-nous aujourd'hui capables, en tant qu'Assemblée des Nations, d'aprouver, comme en 1948 (le 10 décembre, NDLR), la Déclaration universelle des droits de l'homme ?²* », demandait Angela Merkel au Forum de Paris sur la paix qui s'est tenu dans la capitale française du 11 au 13 novembre 2018. Pas sûr ! Et même si la chancelière allemande adopte le mode interrogatif pour adoucir son propos, sa question signe l'extraordinaire régression politique à l'œuvre sur tous les continents. En Europe de l'Est comme en Amérique latine, des gouvernements d'extrême droite votent des lois qui restreignent les libertés individuelles, en particulier celles des femmes, la liberté de la presse, les

libertés universitaires. Aux États-Unis, le Président excite les « sentiments » racistes, homophobes et misogynes. La liste est longue...

Le discours anti droits de l'homme est devenu le discours dominant. La dissolution de la famille ? La faute aux droits de l'homme, qui auraient transformé ce qui était un collectif en une simple association d'individus possédant des droits égaux (ceux de la femme, des enfants, etc.). La difficulté des élus à gouverner ? La faute aux droits de l'homme qui, en permettant à chacun de demander droit à la santé ou à un logement, ne rendraient plus possible la construction d'une volonté générale. La légitimation de l'économie de marché ?

La faute aux droits de l'homme ! La montée du populisme ? La faute aux droits de l'homme.

En France aussi ce discours est soutenu par des intellectuels – les « amoureux du grenier », tournés vers le passé – qui ont oublié qu'au fronton de la Déclaration de 1789 il est écrit que « *l'ignorance, l'oubli ou le mépris des droits de l'homme sont les seules causes des malheurs publics et de la corruption des gouvernements* ». Soixante-dix ans après la Déclaration universelle, il faut donc rappeler encore et encore que les droits de l'homme sont le code d'accès à la démocratie. D'abord parce qu'ils constituent le citoyen qui est le référent de la démocratie.

“Soixante-dix ans après la Déclaration universelle, il faut donc rappeler encore et encore que les droits de l’homme sont le code d’accès à la démocratie.”

Quand, en effet, des hommes s’assemblent, cette réunion produit toujours la nécessité de règles qui fondent leur vie commune et organisent leurs rapports ; qui, pour reprendre l’article 2 de la Déclaration de 1789, les constituent en « association politique ». Il n’est pas de société sans règles. Et, quand ces sociétés sortent de la religion et, plus généralement, de toute forme de transcendance où enracer les règles d’intégration politique, le seul médium laïc qui reste pour « faire société », pour assurer le maintien, la maîtrise et le destin du collectif, c’est-à-dire du politique et de l’histoire, c’est le droit.

Un citoyen de droit

Dans les sociétés postmétaphysiques, sans droit pas de politique et pas d’histoire. Seulement le vide et l’anomie. Ainsi, en énonçant les droits de l’homme, la Déclaration de 1948 offre aux hommes de tous les pays la possibilité de « sortir » de leurs déterminations sociales, de ne plus se voir dans leurs différences sociales mais de se représenter comme des êtres de droit égaux entre eux, comme des citoyens du monde. La force propre du droit, écrivait Pierre Bourdieu, est d’instituer, c’est-à-dire de faire exister ou encore de donner vie à ce qu’il nomme.

Ainsi en est-il des droits de l’homme qui nomment le citoyen et, en le nommant, le constituent – au sens premier du terme – citoyen sujet de droit. Le citoyen, en effet, n’est ni une donnée immédiate de la conscience ni une donnée naturelle. Il n’est pas une réalité objective, présent à lui-même, capable de se comprendre comme tel. Le citoyen est une création artificielle, très précisément il est créé par les textes qui posent les droits qui le constituent.

Ensuite, les droits de l’homme sont le code d’accès à la démocratie en ce qu’ils mettent les hommes en relation les uns avec les autres – liberté d’aller et venir, liberté d’expression, etc. – pour construire

les règles et ils ouvrent sur l’histoire car ils sont toujours devant nous, à découvrir et à réaliser : l’égalité proclamée en 1789, le logement proclamé en 1946, l’environnement sain proclamé en 2004 restent toujours des droits à venir et non des droits finis sous prétexte qu’ils auraient été proclamés en 1789, 1946 et 2004.

Des libertés de rapport

Les droits de l’homme ne sont pas des libertés « fermées » mais des « libertés de rapport », selon l’expression de Claude Lefort³. Lorsque l’article 6 de la Déclaration de 1789 reconnaît aux citoyens le droit de concourir à la formation de la loi, il invite les citoyens à entrer en relation les uns avec les autres pour définir la volonté générale. Lorsque l’article 4 définit la liberté comme le pouvoir de faire tout ce qui ne nuit pas à autrui, il invite les individus à prendre en considération l’existence et les droits de l’autre. Lorsque l’article 11 proclame la liberté de communication des pensées et des opinions, il invite moins l’individu à se replier sur lui-même qu’à s’ouvrir et à se mettre en rapport avec les autres hommes.

En d’autres termes, la Déclaration de 1789 fait éclater le système fermé des ordres de l’Ancien Régime et lui

substitue un système ouvert. Ce qu’inaugurent les droits de l’homme n’est pas la constitution d’un espace privé dans lequel serait enfermé et s’enfermerait chaque individu mais, au contraire, la création d’un espace public dans lequel le corps et les idées de chaque homme pouvant circuler librement se confrontent nécessairement aux corps et aux idées des autres.

Les droits, une question ouverte

La distinction démocratique tient précisément dans cette interrogation continue sur les droits de l’homme. Les régimes totalitaires comme les régimes démocratiques « fonctionnent » sans doute au droit. Mais, alors que les premiers refusent, par principe, toute discussion sur le droit dont ils s’affirment seuls détenteurs légitimes, les seconds acceptent, par principe, la légitimité du débat sur les droits. La spécificité de la démocratie est de laisser la question des droits toujours ouverte puisque sa logique est de ne reconnaître aucun pouvoir, aucune autorité dont la légitimité ne puisse être discutée. Et, au centre de cette discussion, demeure constamment l’interrogation sur les revendications qui peuvent être qualifiées ou non de droits de l’homme.

« Dans l’épreuve quotidienne qui est la nôtre, écrit Camus, la révolte joue le même rôle que le cogito dans l’ordre de la pensée : elle est la première évidence. Mais cette évidence tire l’individu de sa solitude. Elle est un lien commun qui fonde sur tous les hommes la première valeur. Je me révolte, donc nous sommes. »⁴ Les droits de l’homme sont tous issus de la révolte et, en ce sens, ils portent le souci de tous les hommes, ils sont le lieu commun de tous les hommes, ils signent la solidarité de tous les hommes. Ils sont la part sans laquelle l’individu démocratique ne peut être et donc ne pourrait être la démocratie. II

ANOMIE
Forgé par le sociologue Émile Durkheim, ce concept caractérise la situation où se trouvent les individus lorsque les règles sociales perdent leur pouvoir, sont incompatibles entre elles ou lorsqu’elles doivent céder la place à d’autres.



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

1. Dominique Rousseau est professeur à l’Université Paris-1 Panthéon Sorbonne et directeur de l’Institut des sciences juridique et philosophique de la Sorbonne (Unité CNRS/Université Paris-1 Panthéon Sorbonne). 2. *Le Monde* du 13 novembre 2018, p. 2. 3. *Droits de l’homme et Politique*, Claude Lefort, in *Libre* n° 7, Payot, 1980. 4. *L’Homme révolté*, Albert Camus, La Pléiade, 2008, p. 79.

Philippe Caïs, Ingénieur de recherche au Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux¹

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ROMAIN HECQUET

... de cette maquette que nous avons conçue pour les journées portes ouvertes du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux (LAB). Elle nous permettait de présenter au public notre travail sur un instrument destiné à équiper un futur rover de la Nasa, devenu célèbre depuis qu'il a été envoyé sur Mars: Curiosity. Avec mes collègues du LAB, nous étions chargés de la conception du logiciel de bord de l'instrument ChemCam, module blanc placé au sommet du rover. Il est capable de tirer à distance sur le sol avec un laser, dévoilant la composition des roches. ChemCam permet ainsi d'évaluer rapidement l'intérêt du site sur lequel le rover se trouve pour déclencher des analyses plus précises par d'autres appareils. Grâce à une dizaine d'instruments embarqués, dont ChemCam, Curiosity a prouvé que la planète Mars était habitable il y a 3,5 milliards d'années! Il parcourt le sol martien depuis sept ans, et, quant à nous, nous travaillons sur la nouvelle génération de l'appareil, nommée SuperCam. Je suis désormais chef de projet sur la totalité de l'instrument, auquel sept laboratoires, dont le LAB, collaborent pour un lancement en 2020. Nouvelle mission, nouveau rover, avec cette fois pour but de collecter et de rapporter des échantillons sur Terre à l'horizon 2030.”

PHOTO : CHRISTOPHE LEBEDINSKY/INSU/CNRS PHOTOTHÈQUE

1. Unité CNRS/Université de Bordeaux.





Un sou est un sou

Où l'on apprend que la recherche avait parfois de drôles de ressources.

Mobilisé par l'anniversaire du CNRS, notre historien chroniqueur Denis Guthleben laisse la place cette année... à des anecdotes sur l'histoire de l'organisme. Dans cette première livraison, découvrez comment un député mathématicien a fondé en 1925 le premier vrai financement de la recherche en France.

Juillet 1925. L'Assemblée nationale vote la création de la taxe d'apprentissage. Le mathématicien Émile Borel, député de l'Aveyron, ajoute un amendement qui va tout changer pour la recherche scientifique en France !

Jusque-là, la recherche était financée au petit bonheur soit par des fondations privées soit par des concours d'inventeurs. Au début du XX^e siècle, on a exploré des pistes de financement assez inattendues : prendre de l'argent sur le « pari mutuel », c'est-à-dire les mises aux courses de chevaux (l'ancêtre du PMU !) ou encore sur les entrées au Salon des arts ménagers...

Avec son amendement, Émile Borel crée, pour la première fois en France, un financement pérenne de la recherche scientifique. Le principe ? Une partie de l'argent perçu par la taxe d'apprentissage (5 centimes, soit, selon l'appellation de l'époque, un Sou) est affectée au financement de la recherche scientifique. On appelle alors cette taxe le « Sou Borel » ou « Sou des laboratoires ».

C'est un grand pas vers la naissance d'une vraie politique nationale de recherche, qui aboutira à la création du CNRS en 1939. Entre-temps, on tâtonnera encore un peu : en 1930, la Caisse nationale des sciences est financée par une partie du budget de la ligne Maginot ! ||

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

Science tips



Le seul intérêt de l'argent est son emploi
 BENJAMIN FRANKLIN

PRIX BETTENCOURT COUPS D'ÉLAN POUR LA RECHERCHE FRANÇAISE - LAURÉATS 2018

4 SCIENTIFIQUES ET LEURS ÉQUIPES DE RECHERCHE RÉCOMPENSÉS
4 laboratoires du CNRS et de l'Inserm rénovés et/ou équipés



Éric CASCALES

Étude de l'architecture et de l'assemblage d'un harpon antibactérien : le système de sécrétion de type VI

Institut de Microbiologie de la Méditerranée (CNRS / AMU)



Angela FALCIATORE

Caractérisation des mécanismes régulés par la lumière chez les microalgues

Institut de Biologie Physico-Chimique (CNRS / Sorbonne Université)



Archana SINGH-MANOUX

Étude épidémiologique du vieillissement et maladies neurodégénératives

Centre de recherche épidémiologique et statistique Sorbonne Paris Cité, Hôtel Dieu (Inserm / Université Paris Sud / UVSQ)



Salvatore SPICUGLIA

Étude de la réponse au stress par de nouveaux éléments promoteurs ayant une activité « Enhancer »

Parc scientifique de Luminy, Université d'Aix-Marseille (Inserm / AMU)



Fondation Bettencourt Schueller

Reconnue d'utilité publique depuis 1987

La Fondation Bettencourt Schueller s'est fixée pour objectif d'agir durablement sur l'écosystème de la recherche en sciences de la vie. Elle travaille sur trois leviers indissociables : accentuer le rayonnement de la recherche biomédicale française, accélérer le processus d'innovation, améliorer les conditions de travail des chercheurs. Depuis 1990, elle a déjà attribué 410 prix dont 66 à des laboratoires de recherche biomédicale du CNRS ou de l'Inserm, et soutenu plus de 150 projets en sciences de la vie. Pour en savoir plus : fondationbs.org

EN EUROPE ET DANS PLUS DE
120 VILLES EN FRANCE

11 ————— 17 MARS

**SEMAINE
DU CERVEAU
2019**

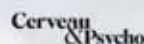
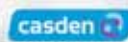


EXPOSITIONS
CINÉ-DÉBATS
SPECTACLES
ATELIERS
RENCONTRES
CONFÉRENCES
ANIMATIONS SCOLAIRES
CAFÉ DES SCIENCES

Plus d'infos sur :
www.semaineducerveau.fr
#SDC2019



THE EUROPEAN
DANA ALLIANCE
FOR THE BRAIN



En 2019, le CNRS célèbre ses 80 ans

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

www.80ans.cnrs.fr



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes