



ALZHEIMER :
l'état des
lieux de
la recherche

10 ans après,
le bon bilan
de l'ERC

**Dans les
secrets**
de la
combustion

IKONIKAT :
comment
regarde-t-on une
œuvre d'art ?

Claude Shannon

LE MONDE EN BINAIRE

Un site pour découvrir le
parcours de Claude Shannon,
père de la Théorie de l'information
et inventeur du bit informatique.



<https://centenaire-shannon.cnrs.fr>

START-UP CONNEXION

Les rencontres investisseurs et chercheurs-entrepreneurs

ÉDITION #3



Rendez-vous aux

RUE2017

Salon de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche www.rue-aeef.com

LE 17 MARS 2017
PALAIS DES CONGRÈS • PARIS
www.startup-connexion.com



Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

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

Alain Fuchs

Directrice de la rédaction :

Brigitte Perucca

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaud

Chef de rubrique :

Charline Zeitoun

Rédacteurs :

Anne-Sophie Boutaud, Laure Cailloce,

Claire Debôves, Yaroslav Pigenet

Assistante de la rédaction**et fabrication :**

Laurence Winter

Ont participé à ce numéro :

Stéphanie Belaud, Julien Bourdet,

Grégory Fléchet, Cyril Frésillon,

Léa Galanopoulo, Denis Guthleben,

Francis Lecompte, Daphnée Lepoitois,

Carina Louart, Fui Lee Luk,

Véronique Meder, Émilie Silvoz

Secrétaires de rédaction :

Isabelle Grandrieux, Sandrine Hagège

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 : *La Forge*
de Louis Le Nain.

PHOTO : F. RAUX/RMN-GRAND PALAIS (MUSÉE DU LOUVRE)

Le Conseil européen de la recherche (ERC) fête ses dix ans. Créées à la demande de la communauté scientifique européenne, les bourses qu'il délivre aux chercheurs ont permis de pallier l'évolution toujours plus utilitariste des appels d'offres européens. L'institution, organisée en panels basés sur les disciplines, place les scientifiques aux commandes. Quand d'autres appels à projets incitent à des réponses ancrées dans des thématiques bien identifiées et dans l'air du temps, l'ERC ne craint pas les idées en rupture avec les dogmes en vigueur et les projets à risque. La durée le permet : le fait de bénéficier d'un contrat sur cinq ans ouvre un espace de liberté pour mener une recherche originale. Contrairement aux idées reçues, une organisation collective de la recherche telle que la nôtre, avec des équipes de jeunes permanents, est parfaitement compatible avec les appels d'offres de l'ERC. Ce système fonctionne bien : même si la sélection est rude, laissant sur le côté de nombreuses demandes de qualité, je n'ai personnellement jamais entendu de critiques quant aux rapports d'évaluation.

“L'ERC ne craint pas les idées en rupture, ni les projets à risque.”

Si cette institution permet de développer des sujets originaux, son emprise sur la recherche d'un pays comme la France reste marginale. Le modèle dominant n'est pas celui-là. Rappelons-le : le travail scientifique ne se planifie pas ; seuls le temps et des moyens en sont les constantes nécessaires. Certains pays l'ont mieux compris que d'autres, l'Allemagne mieux que la France. Il n'est pas superflu de le rappeler dans cette période électorale, même si, pour l'instant, la recherche reste malheureusement absente des débats.

Cette préoccupation n'a pas échappé au Comité d'évaluation international du CNRS. Dans le rapport qui vient d'être rendu public (*lire page 41*), ses membres estiment que « *la mission première du CNRS, soit le financement à long terme de programmes de recherche fondamentale non dirigée, est menacée* ». Ils préconisent une augmentation du budget de l'organisme afin de soutenir « *une programmation de recherche à long terme et à la fine pointe de l'excellence, capable de prendre des risques et sortant des sentiers battus* ». On ne saurait mieux dire.

Bruno Chaudret,
président du Conseil scientifique du CNRS



© C. FRÉSILLON/CNRS PHOTO THEQUE



© URSULA MARKUS/BSP

GRAND FORMAT

11

Alzheimer : où en est la recherche ?	12
L'étonnante chronique des eaux usées	24
10 ans après, le bon bilan de l'ERC	30



Marc Robert,
un chimiste
à l'assaut du CO₂

6

© G. FRÉLILLON/CNRS PHOTO THÈQUE

EN PERSONNE 5

Pyrène, le robot humanoïde nouvelle génération	9
Les Étoiles de l'Europe	10



On a pris la mer
avec les vigies
de la Méditerranée

44

© L. GAILLOCE

EN ACTION 37

Ikonikat, un autre regard sur l'art	38
Nicolas Castoldi : « La priorité du CNRS est d'affirmer son modèle de valorisation »	42
Cap sur la facturation électronique	47
Comment partager la culture scientifique ?	48
Les échanges de données au peigne fin	49
Dans les secrets de la combustion	50
Le CNRS et Solvay, 40 ans d'innovation	52



Réparer les corps
élastiques

60

© TWENTIETH CENTURY FOX FILM CORPORATION/CONSTANTIN FILM PRODUKTION/MARVEL COLLECTION CHRISTOPHEL

LES IDÉES 55

Peut-on se noyer dans le virtuel ?	56
La démesure de la précision	58
L'astate, si rare et si précieux pour traiter le cancer	61
Un voyage en traduction	62
Protection des données : le chiffrement ne suffit pas	63

CARNET DE BORD

P. López-García nous raconte un souvenir de recherche 64

LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

Si vis pacem..... 66

EN PERSONNE



Où l'on rencontre des chercheurs étoilés, un chimiste qui s'en prend au dioxyde de carbone et le nouveau robot humanoïde de Toulouse.

ILLUSTRATION : MARION BROUSSE/VALERIEQUALID.COM POUR CNRS LE JOURNAL

MATIÈRE

TERRE

Chimie. Depuis des années, Marc Robert développe un procédé pour valoriser le dioxyde de carbone. Avec ses collègues Jean-Michel Savéant¹ et Cyrille Costentin², du Laboratoire d'électrochimie moléculaire³, il a reçu en novembre 2016 le prix du « Challenge des molécules essentielles » de la société Air Liquide.

PAR GRÉGORY FLÉCHET

© C. PRÉSILION/CNRS PHOTO THÉOÙE



Marc Robert, un chimiste à l'assaut du CO₂

Que faire des milliards de tonnes de CO₂ que nous injectons chaque année dans l'atmosphère ? C'est sans doute en gardant cette question à l'esprit que Marc Robert a commencé à imaginer des solutions permettant de valoriser ce gaz à effet de serre, au milieu des années 2000. Avant cela, le chimiste et ses collègues du groupe Transfert d'électron et bouleversements moléculaires du Laboratoire d'électrochimie moléculaire (LEM) vont, plus d'une décennie durant, s'évertuer à faire progresser les connaissances sur les transferts d'électrons. Leurs travaux, avant tout fondamentaux, s'appuient sur l'électrochimie moléculaire. Cette discipline dérivée de la chimie permet d'étudier comment les électrons peuvent casser les liaisons entre les atomes d'une même molécule pour produire d'autres molécules d'intérêt.

« C'est sur les conseils de Jean-Michel Savéant, dont j'ai fait la connaissance durant mon année de DEA, que j'ai finalement décidé de m'intéresser à la chimie des transferts d'électrons et aux petites molécules comme le CO₂ »,

se souvient Marc Robert. Durant sa thèse, qu'il soutient sous la direction de cette figure mondiale de l'électrochimie, Marc Robert va également croiser le chemin de Rudolph Marcus. Si la rencontre avec le prix Nobel de chimie 1992 n'est que de courte durée, les travaux du scientifique américain vont en revanche grandement influencer le jeune chercheur.

Des débouchés industriels prometteurs

Après une année de stage postdoctoral aux États-Unis, Marc Robert intègre l'université Paris-Diderot. Nous sommes en 1997 et la grande préoccupation scientifique est le trou dans la couche d'ozone. « À l'époque, les études scientifiques portant sur la réduction du CO₂ par catalyse électrochimique étaient relativement confidentielles », raconte celui qui est désormais enseignant-chercheur en chimie dans cette université.

Cela ne va toutefois pas durer. Au tournant des années 2000, la menace du changement climatique conduit nombre de gouvernements à faire de la réduction des gaz

1. Jean-Michel Savéant est directeur de recherche émérite au CNRS. 2. Cyrille Costentin est professeur à l'université Paris-Diderot et actuellement professeur invité à l'université de Harvard. 3. Unité CNRS/Université Paris-Diderot. 4. « Local Proton Source Enhances CO₂ Electroreduction to CO by a Molecular Fe Catalyst », C. Costentin, S. Drouet, M. Robert et J.-M. Savéant, *Science*, 2012, vol. 338 : 90-94. 5. Grâce au soutien de la Société d'accélération de transfert technologique IDF Innov, ce procédé a déjà fait l'objet de quatre brevets depuis 2013.

Son parcours en 6 dates

- | | | | |
|-------------|--|-------------|---|
| 1995 | Thèse en électrochimie | 2007 | Membre junior de l'Institut universitaire de France |
| 1996 | Stage postdoctoral en photochimie à l'Ohio State University (États-Unis) | 2013 | Chercheur détaché au CNRS (jusqu'en 2015) |
| 1997 | Maître de conférences à l'université Paris-Diderot puis professeur en 2004 | 2016 | Lauréat du « Challenge des molécules essentielles » d'Air Liquide |

à effet de serre une priorité. Dans ce contexte, les travaux de Marc Robert et du LEM sur les transferts d'électrons vont alors contribuer à l'étude de la réduction du CO₂ en monoxyde de carbone (CO). Ce gaz est en outre une matière première importante pour l'industrie chimique qui l'emploie dans la fabrication de l'acide acétique, des poly-carbonates ou des intermédiaires du polyuréthane.

Une fois enrichi en hydrogène, le monoxyde de carbone peut également servir à produire des molécules plus complexes. « On peut par exemple obtenir du méthanol (CH₃OH), un alcool qui fait office de carburant mais peut aussi être employé dans des piles à combustible pour alimenter des appareils électroniques portables. Il est également possible de synthétiser des hydrocarbures comme le méthane », illustre le scientifique. Cela s'avère en revanche très onéreux, car la réduction de CO₂ en CO implique de rompre une des liaisons carbone-oxygène extrêmement solides, ce qui nécessite une grande quantité d'énergie. Les procédés les plus efficaces reposent sur l'emploi de métaux rares et par conséquent très coûteux, bien que l'utilisation de catalyseurs permette de limiter le coût de la réaction chimique.

Un catalyseur aux multiples atouts

Marc Robert et son équipe parviennent toutefois à déjouer ces difficultés en 2011, en testant pour la première fois un catalyseur d'un genre nouveau. « Dès le premier essai, nous sommes parvenus à mettre au point un catalyseur moléculaire de la réduction du CO₂ parmi les plus performants jamais conçus à ce jour », s'étonne encore aujourd'hui le chercheur. Un véritable coup de maître qui leur vaudra la publication d'un article dans la revue *Science*⁴ un an plus tard.

Inspiré de la protéine d'hémoglobine qui assure le transport de l'oxygène dans le sang, ce catalyseur moléculaire est constitué d'une cavité organique au sein de laquelle est positionné un atome de fer. Ce dernier assure la transformation du CO₂ à partir d'électrons fournis par une électrode de carbone. « En substituant notre catalyseur aux habituelles molécules à base de métaux rares, la réduction du CO₂ en CO est non seulement plus rapide et très stable dans le temps, mais elle devient aussi extrêmement sélective vis-à-vis du CO₂ », précise Marc Robert.

Le fer étant de surcroît le métal le plus abondant de la croûte terrestre, le développement à grande échelle d'un procédé utilisant cette famille de catalyseurs devient un objectif réaliste⁵. Mais, alors qu'il faudra sans doute plusieurs années avant qu'une technologie basée sur ces principes émerge et puisse être commercialisable, d'autres défis attendent les chercheurs.

Vers un monoxyde de carbone 100 % vert

« Avec Jean-Michel Savéant et Cyrille Costentin, nous analysons les données expérimentales collectées par nos étudiants presque quotidiennement, souligne Marc Robert. Sans ce mode de fonctionnement collaboratif, nous n'aurions pu découvrir si rapidement un système de catalyse aussi efficace. » Sur un plan fondamental, les trois scientifiques poursuivent ainsi le décodage des mécanismes électrochimiques qui se cachent derrière les performances exceptionnelles de leurs catalyseurs. Afin de leur délivrer les précieux électrons sans passer par l'intermédiaire d'une électrode, l'équipe commence par ailleurs à expérimenter la réduction du CO₂ à partir de la lumière visible. « Je ne serais peut-être pas venu à ce type d'expérimentation si je n'avais fait le choix d'étudier la photochimie quinze ans plus tôt lors de mon stage postdoctoral », constate le chercheur.

Pour pouvoir mener de front tous ces projets, Marc Robert et ses collègues vont mettre à contribution la dotation qui accompagne le prix du « Challenge des molécules essentielles » décerné par Air Liquide et recruter de nouveaux postdoctorants. Pendant les quatre prochaines années, ils travailleront par ailleurs en étroite collaboration avec les laboratoires du groupe industriel pour réaliser les premiers essais pilotes de leur technologie. « Idéalement, nous envisageons de fournir l'électricité nécessaire à la catalyse du CO₂ à partir de panneaux solaires dans la perspective de produire pour la première fois du monoxyde de carbone 100 % vert », espère le scientifique. ||

“À partir du monoxyde de carbone, on peut produire du méthanol ou synthétiser des hydrocarbures.”


**RÉCOMPENSÉS PAR
L'ACADÉMIE FRANÇAISE**

Bruno David (à gauche),
président du Muséum
national d'histoire naturelle

et directeur de recherche au CNRS, et Patrick de Wever (à droite), professeur au Muséum, se sont vu attribuer le prix Léon de Rosen par l'Académie française pour leur ouvrage *La biodiversité de crise en crise*, paru aux Éditions Albin Michel.

Olivier Neyrolles, lauréat du Prix Sanofi-Institut Pasteur

Olivier Neyrolles, directeur de recherche à l'Institut de pharmacologie et de biologie structurale (IPBS), a reçu le prix Sanofi-Institut Pasteur, le 13 décembre 2016 à Paris. Ses travaux visent à mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'immunité antituberculeuse et la virulence de *Mycobacterium tuberculosis*, bactérie responsable de la tuberculose. Trois autres lauréats ont également été distingués : Françoise Benoît-Vical, directrice de recherche à l'Inserm, Patrice Courvalin, professeur à l'Institut Pasteur, et Yasmine Belkaid, chercheuse au National Institute of Health à Washington. Ce prix récompense leurs contributions majeures au service de la santé.


© V. VERKINDRE/CNRS PHOTO THÈQUE

Une stratégie pour l'intelligence artificielle

Le 20 janvier, Thierry Mandon, secrétaire d'État chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et Axelle Lemaire, secrétaire d'État au Numérique et à l'Innovation, ont lancé la stratégie nationale en intelligence artificielle. Un comité d'orientation associant des représentants de la recherche a notamment été mis en place pour cartographier l'écosystème de l'intelligence artificielle et en fédérer les acteurs. Michel Bidoit, directeur de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions du CNRS, et Cédric Villani, directeur de l'institut Henri-Poincaré à Paris, font partie de ce comité. Par ailleurs, sept groupes de travail rassemblant des chercheurs, des représentants de start-up et de grandes entreprises, sont chargés de définir des recommandations pour l'orientation stratégique de la France dans ce domaine.

Olivier L'Haridon, lauréat du prix Descartes-Huygens 2016

Spécialiste de l'économie comportementale et membre du Centre de recherche en économie et management (CREM), Olivier L'Haridon est lauréat du prix Descartes-Huygens avec l'historien néerlandais Louis Sicking, spécialiste de l'histoire maritime à l'université de Leyde. Créé en 1995 par les gouvernements français et néerlandais, ce prix récompense chaque année deux scientifiques de très haut niveau de l'une et l'autre nationalités.


IS

T É L E X _ T É L E X _

Le mathématicien Hugo Duminil-Copin, qui avait déjà reçu un prix de la European Mathematical Society (EMS) en juillet 2016, est l'un des quatre lauréats du prix « New Horizons in Mathematics » alloué par la fondation Breakthrough Prize. /// Le 24 janvier, le prix de la Revue économique 2016 a été remis à David Martimort, de l'unité Paris-Jourdan Sciences économiques. Ses recherches s'inscrivent dans le champ de la modélisation des incitations, de la régulation et de l'organisation industrielle. /// Le Grand Prix de la 2^e édition des Rencontres du numérique de l'ANR a été attribué à Nicolas Mansard du Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS), médaille de bronze 2015 du CNRS, pour son projet Entracte qui étudie le problème de la planification de trajectoires pour les systèmes anthropomorphes.

ROBOT HUMANOÏDE BIPÈDE de 1,75 mètre à la toise, Pyrène a été construit par les roboticiens de PAL Robotics, à Barcelone, pour répondre aux spécifications des roboticiens du Laas, à Toulouse. Sa structure lui permettra d'exécuter des mouvements complexes à partir de 32 rotations articulaires élémentaires.

Grâce à ses **CAMÉRAS STÉRÉO**, il pourra détecter et contourner divers obstacles. Pour marcher et monter les escaliers, il fera preuve d'un sens aigu de l'équilibre grâce à sa centrale inertielle similaire à notre oreille interne.

SES PINCES DE PRÉHENSION et les capteurs de force de ses poignets lui permettront de saisir des objets, de prendre appui contre un mur si besoin pour se déplacer, etc. Il sera capable de porter 6 kg avec chaque bras et d'effectuer des actions complexes telles que visser ou percer un trou.

Pyrène, le robot humanoïde nouvelle génération

Voici Pyrène, la nouvelle recrue du Laas¹. Outil précieux pour la recherche, il sera capable de travailler parmi les humains sans les blesser, de porter pour eux de lourdes charges et d'évoluer dans leurs environnements pensés pour des corps anthropomorphes souples et agiles.

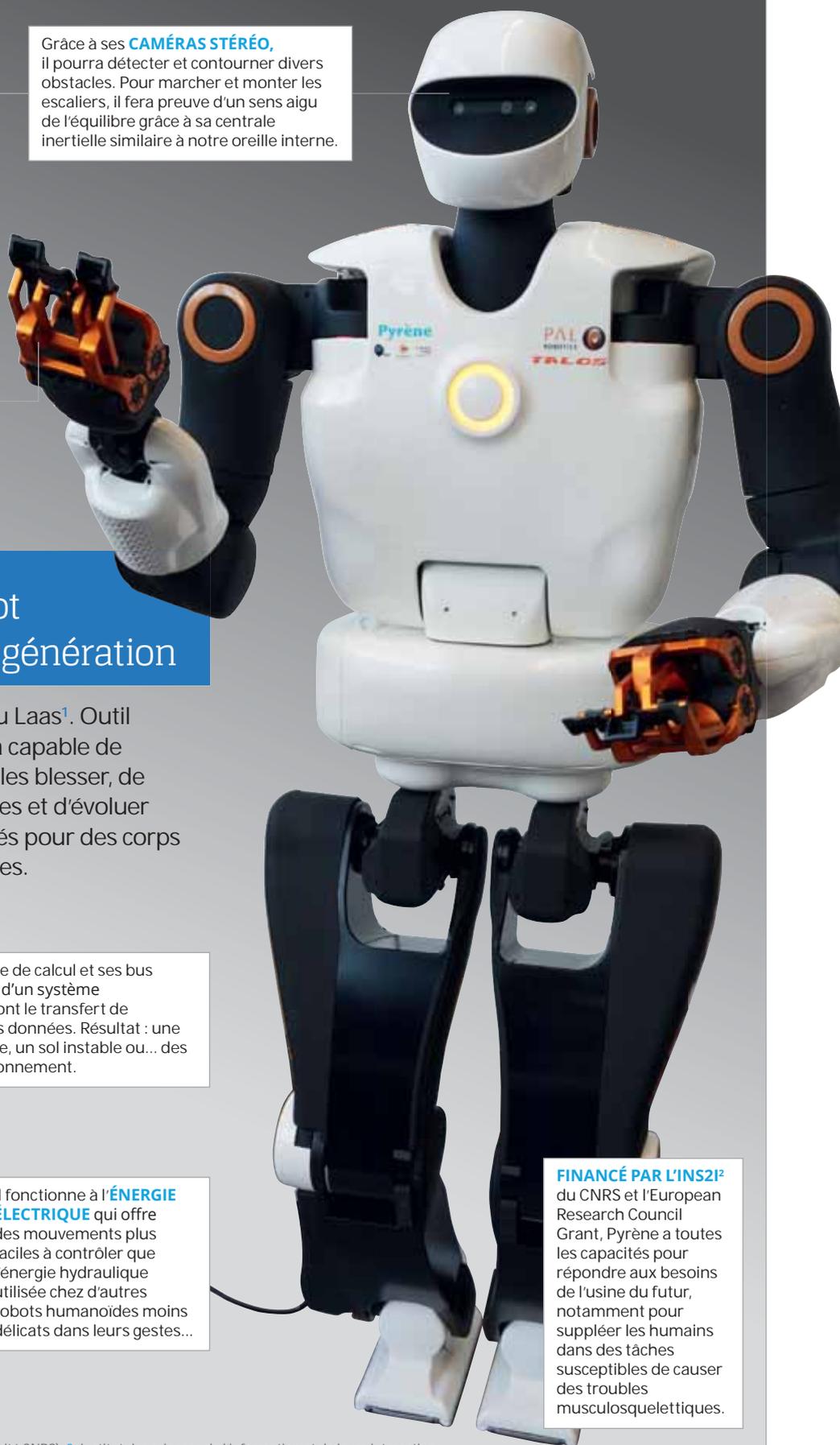
PAR FUI LEE LUK ET CHARLINE ZEITOUN

SES CAPTEURS HIGH-TECH, sa forte puissance de calcul et ses bus (connexions reliant les différents composants d'un système informatique) de nouvelle génération faciliteront le transfert de l'information et optimiseront le traitement des données. Résultat : une meilleure réactivité du robot face à un obstacle, un sol instable ou... des collègues humains rencontrés dans son environnement.

En plus de son intérêt pour l'industrie, Pyrène **CONTRIBUE À L'AVANCEMENT DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE** sur la robotique humanoïde. Dans cette optique, le Laas a travaillé depuis 2006 avec le robot japonais HRP-2 pour créer des algorithmes de mouvements inspirés du modèle humain. Les découvertes effectuées dans ce cadre pourraient mener à diverses applications, comme la conception de prothèses par exemple.

Il fonctionne à l'**ÉNERGIE ÉLECTRIQUE** qui offre des mouvements plus faciles à contrôler que l'énergie hydraulique utilisée chez d'autres robots humanoïdes moins délicats dans leurs gestes...

FINANCÉ PAR L'INS2I² du CNRS et l'European Research Council Grant, Pyrène a toutes les capacités pour répondre aux besoins de l'usine du futur, notamment pour suppléer les humains dans des tâches susceptibles de causer des troubles musculosquelettiques.



1. Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (Unité CNRS). 2. Institut des sciences de l'information et de leurs interactions.

Les Étoiles de l'Europe



© MENESBOUR PICTURES

► L'édition 2016 a récompensé douze lauréats, parmi lesquels trois chercheurs du CNRS.

Le 5 décembre 2016, le musée du quai Branly-Jacques Chirac accueillait la quatrième cérémonie de remise des Étoiles de l'Europe, dans la foulée du 3^e Forum Horizon 2020. Cette récompense a pour but de « valoriser les équipes françaises qui ont choisi l'Europe pour développer leurs recherches et s'ouvrir à l'innovation ». Parmi les douze coordinateurs de projets européens primés, on trouve trois chercheurs du CNRS.

Geneviève Almouzni, directrice du Centre de recherche de l'Institut Curie, a ainsi reçu le prix spécial du jury pour la coordination du réseau européen d'excellence EpiGeneSys, qui rassemble 160 laboratoires en Europe autour de l'épigénétique et de la biologie des systèmes. **Gilles Flamant**, directeur du laboratoire PROMES (Procédés, matériaux et énergie solaire), reçoit une Étoile de l'Europe pour la coordination du projet CSP2 qui propose une innovation de rupture dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire. Enfin, **Yves Aurégan**, directeur du Laboratoire d'acoustique de l'université du Maine (Laum) se voit distingué pour le projet FlowAirS, centré sur la réduction des nuisances sonores dans les transports ou les bâtiments.

Nominations en régions

Jérôme Vitre, ingénieur de recherche au CNRS, a été nommé délégué régional pour la circonscription Languedoc-Roussillon, à compter du 1^{er} mars 2017, en remplacement de Ghislaine Gibello, appelée à d'autres fonctions.



© A. LIEUWIN

De son côté, **Clarisse David** (photo), ingénieure de recherche au CNRS, a été nommée déléguée régionale par intérim de la circonscription Paris-Villejuif, du 1^{er} avril au 31 mai



© V. DEBORD/CNRS DR17

2017. Elle assurera les fonctions de déléguée régionale de la circonscription à compter du 1^{er} juin 2017. Jusqu'au 31 mars 2017, c'est **Anne-Françoise Duval**, ingénieure de recherche au CNRS, qui a été nommée déléguée régionale par intérim pour cette circonscription.

L'Agence française pour la biodiversité installe son comité scientifique

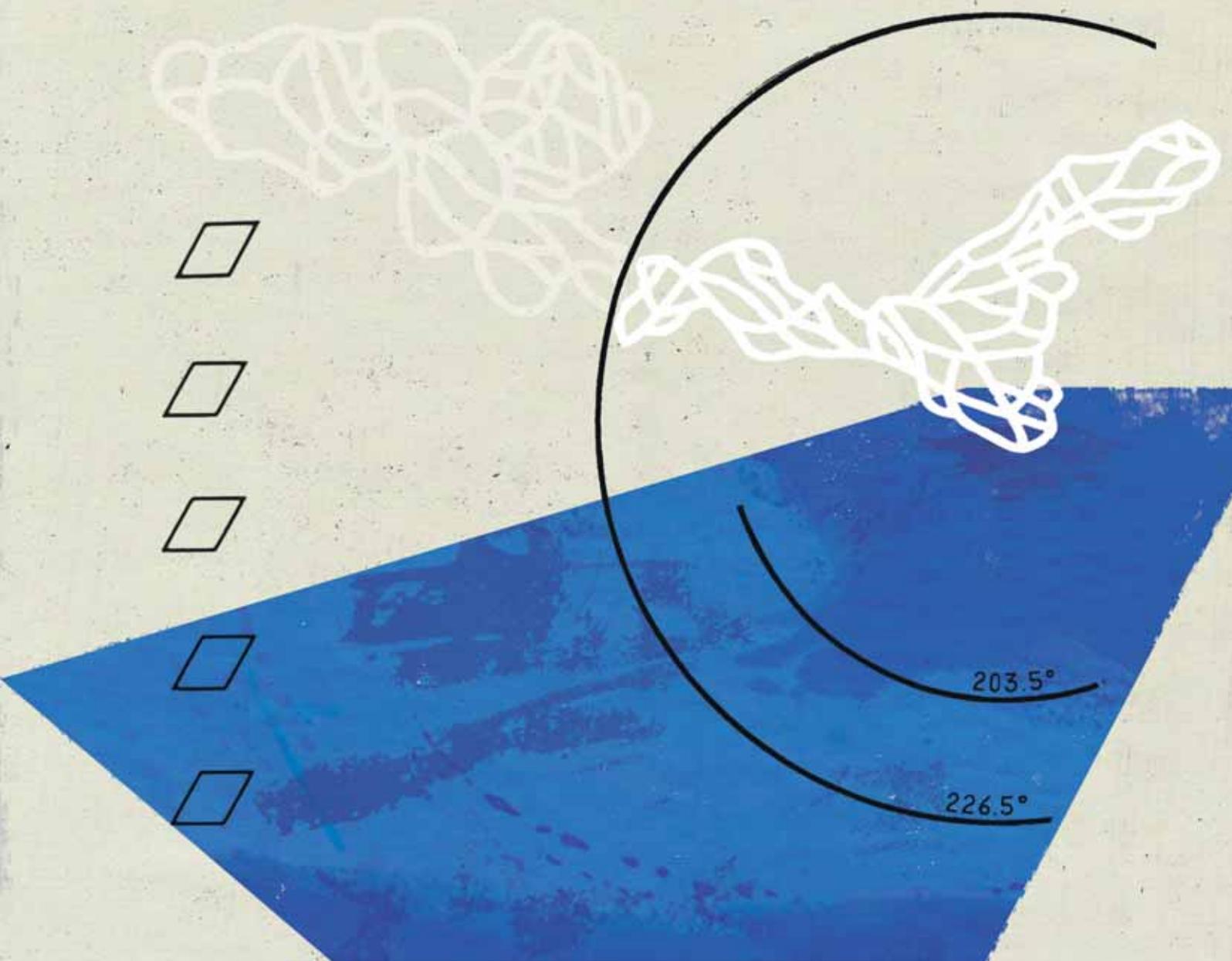
Depuis le 1^{er} janvier, l'Agence française pour la biodiversité est opérationnelle, regroupant désormais l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema), les Parcs nationaux de France, l'Agence des aires marines protégées et l'Atelier technique des espaces naturels. Les 19 membres de son conseil scientifique se sont réunis pour la première fois le 3 janvier. Plusieurs chercheurs du CNRS ou issus de laboratoires liés à l'organisme font partie de ces « ambassadeurs » de l'Agence, chargés par le ministère de l'Environnement d'inclure « l'ensemble des disciplines scientifiques dans leurs travaux ».

➤ www.afbiodiversite.fr

Le prix Gay-Lussac Humboldt 2016

Décerné côté français par le ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche avec le concours de l'Académie des sciences, le prix Gay-Lussac Humboldt récompense d'éminents scientifiques en activité en Allemagne. Il distingue cette année Hermann Matthies, directeur de l'Institut für Wissenschaftliches Rechnen (calcul scientifique) à l'université de technologie de Braunschweig et Albrecht Poglitsch, chercheur au Max Planck Institut für Extraterrestrische Physik de Garching.

GRAND FORMAT



Les avancées et les impasses de la recherche sur Alzheimer, l'histoire d'une ville à travers ses eaux usées et les clés du succès de l'ERC.

ILLUSTRATION : MARION BROUSSE/VALERIEQUALID.COM POUR CNRS LE JOURNAL



DIAGNOSTIC, TRAITEMENT, VIE QUOTIDIENNE...

Alzheimer: où en est la

VIVANT

SOCIÉTÉS

Avec plus de 200 000 nouveaux cas par an en France, Alzheimer est la plus fréquente des maladies neurodégénératives. Si aucun traitement n'a été trouvé à ce jour, la recherche avance. Où en sont les connaissances ? Quelles innovations ont récemment vu le jour pour améliorer le diagnostic et l'assistance aux patients ? À l'occasion de la Semaine du cerveau et d'un congrès international sur cette maladie qui se tiendront en mars, *CNRS Le journal* dresse l'état des lieux.

Elle fait peur, évoque la perte de soi, la mort sociale... La maladie d'Alzheimer touche 5 % des plus de 65 ans, soit près d'un million de Français. Et « *c'est sans compter les aidants ! Un malade est souvent entouré par deux ou trois proches* », précise Martine Bungener, économiste et sociologue. Directrice de recherche émérite au CNRS, elle s'intéresse de près aux malades depuis des années.

Si elle n'a pas abouti à ce jour à un traitement, la recherche sur la maladie d'Alzheimer, de plus en plus médiatisée et financée, avance quant à elle à grands pas. Et depuis 2007, la définition même de la maladie a été totalement bouleversée, grâce à l'instauration d'un cadre précis pour l'identifier. « *Un nouveau monde s'est offert*

à nous, on est sorti de la préhistoire », résume le neurologue Bruno Dubois, responsable du Centre des maladies cognitives et comportementales à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, qui a grandement contribué à l'émergence de ces nouvelles définitions.

Bienvenue dans l'ère moderne !

Il y a encore une quinzaine d'années, le diagnostic d'Alzheimer se mêlait à celui d'autres démences. « *On pensait que c'était une maladie très hétérogène, mais pas du tout !* » explique le neurologue. Désormais, les critères cliniques sont bien définis. Par exemple, la maladie atteint l'hippocampe dès le début, provoquant un syndrome amnésique qui s'étend ensuite au cortex cérébral. Dorénavant, Alzheimer est définie par trois lésions majeures : la perte neuronale, l'accumulation de peptides bêta-amyloïdes (qui forment les plaques amyloïdes) et enfin l'agrégation des protéines tau, qui engendrent une dégénérescence neurofibrillaire. « *Ce cadre moderne change tout !* » s'enthousiasme Bruno Dubois, précisant qu'avant cela, les faux diagnostics pouvaient atteindre 35 %...

Depuis, de nombreuses recherches s'intéressent aux mécanismes aboutissant à cette maladie mise en lumière au début du XX^e siècle par Alois Alzheimer. Ronald Melki, directeur de recherche à l'Institut des neurosciences Paris-Saclay¹, fait partie, lui aussi, de ceux qui ont permis d'y voir plus clair. En 2008, il a montré, avec son équipe, que des agrégats protéiques responsables de la dégénérescence pouvaient se transmettre d'une cellule à l'autre, « *comme une infection* », précise-t-il. « *Au bout d'un certain moment, cette propagation, qui s'accompagne d'une amplification, atteint une grande partie du cerveau. En réalité, c'est quelque chose que l'on connaît très bien pour les maladies à prion, comme celle de la vache folle* », indique-t-il. La maladie d'Alzheimer pourrait-elle dès lors être ...

UN DOSSIER RÉALISÉ PAR LÉA GALANOPOULO, STÉPHANIE BELAUD,
FUI LEE LUK ET CARINA LOUART

recherche?

1. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud/CEA/INRA/Inserm/Univ. Jean-Monnet.

... contagieuse ? « Pour l'instant, nous n'avons pas montré de transmission, il faudrait qu'il y ait un contact de cerveau à cerveau », tempère le chercheur, ce qui paraît plus qu'improbable.

De plus, hormis pour les formes génétiques de la maladie, « il n'y a pas de surproduction de peptides amyloïdes, mais une baisse de leur dégradation due à une perte dépendante de l'âge », ajoute Frédéric Checler, directeur de recherche à l'Institut de pharmacologie moléculaire et cellulaire² (IPMC), à Nice. L'âge intervient donc de manière directe dans la mort neuronale.

Les biomarqueurs, un « changement de paradigme »

Agrégat protéique, modification de l'hippocampe, perte neuronale... Ces signes, s'ils sont visibles, aident-ils à poser un diagnostic ? Oui, et les innovations en la matière ont connu un réel tournant ces cinq dernières années, notamment avec l'arrivée des tests biologiques. Auparavant, l'établissement du diagnostic se faisait grâce à un faisceau d'indices : IRM et tests cognitifs notamment. « On donnait des résultats au doigt mouillé. L'objectif était surtout d'éliminer les autres pathologies, et ensuite on estimait une probabilité que ce soit la maladie d'Alzheimer », raconte Bruno Dubois. Désormais, les médecins possèdent une preuve biologique du vivant des patients : les biomarqueurs, détectés grâce à une analyse du liquide céphalorachidien, recueilli par ponction lombaire. « Par exemple, chez une personne malade, on retrouve la protéine tau dans ce liquide à des taux anormalement élevés. Et à l'inverse, il devrait y avoir des peptides amyloïdes, mais on ne

les observe pas en cas d'Alzheimer, car ils restent enfermés dans les plaques amyloïdes », détaille le neurobiologiste Luc Buée, directeur de recherche au Centre de recherche Jean-Pierre-Aubert, à Lille.

Autre avantage des biomarqueurs, et pas des moindres : ils sont détectables à n'importe quel stade de la maladie, même lorsqu'elle est encore silencieuse. « C'est

un changement total de paradigme », assure Bruno Dubois. Seulement, détecter Alzheimer alors que les pertes de mémoire ou la confusion ne sont pas encore installées pose de réels problèmes éthiques, car aucun traitement curatif ne pourra être proposé au malade. « Les biomarqueurs doivent rester un complément diagnostique, lorsqu'il y a un doute, ou chez des personnes jeunes par exemple », prévient le neurologue.

Sans traitement, et malgré les progrès de la recherche, le diagnostic de la maladie tombe toujours comme un couperet. Martine Bungener raconte que ce douloureux moment est souvent vécu « comme une annonce de

mort sociale, comme si tout le regard de la société pesait sur le patient ». Et les premières interrogations des malades ne sont pas tournées vers la médecine ou la science, mais bien vers les difficultés de la vie quotidienne à venir. « Les patients ont l'impression qu'ils vont bientôt devenir quelqu'un qui n'existe pas, mais ils n'ont pas envie qu'on les stigmatise, ce qu'ils veulent c'est une liberté de choix de vie, encore », insiste la sociologue. Ainsi, certains poussent leur proche malade à continuer de cuisiner, de lire, voire de conduire !

Des facteurs de risque mieux connus

« Pourquoi moi ? » Voici l'une des questions qui reviennent le plus souvent à l'annonce du diagnostic, rapporte Martine Bungener. Dans certains cas, les facteurs de risque sont bien identifiés, comme la forme génétique. « Il existe des mutations génétiques très rares qui provoquent la maladie, mais ces patients ne représentent que 0,3 % des formes d'Alzheimer. Ces mutations sont portées par des gènes impliqués dans la genèse des peptides amyloïdes », indique Luc Buée. Par ailleurs, une mauvaise hygiène de vie, et les pathologies qui y sont associées, comme le diabète ou l'hypertension, « conduit à une fragilisation du cerveau favorisant la maladie », ajoute-t-il. Plus curieusement, la recherche a récemment montré que « des symptômes très proches d'Alzheimer se développaient chez des boxeurs, des joueurs de football américain ou encore de hockey », relève le chercheur.

“Avant, on donnait des résultats au doigt mouillé. L'objectif était surtout d'éliminer les autres maladies.”



Illustrations d'un neurone sain (1), d'un neurone chargé de plaques amyloïdes (2, en jaune) et d'un neurone mort que digèrent des cellules microgliales (3, en rouge).

© SFR/ESP

Le facteur de risque le mieux identifié reste néanmoins l'âge. « Avec le temps, les protéines vont s'agréger dans le cerveau. Et plus la vie dure longtemps, plus la probabilité d'accumulation des protéines augmente », résume Ronald Melki. D'autres pistes explicatives ont été explorées, telles que l'infection bactérienne ou virale, mais elles restent aujourd'hui peu concluantes. « L'un des meilleurs moyens de prévention est de faire fonctionner son cerveau, avec de la lecture ou des discussions. À cela il faut ajouter un exercice physique régulier et constant, qui va oxygéner le cerveau et lui apporter des nutriments », conseille le spécialiste.

Des pistes thérapeutiques à la peine

Mieux connaître les facteurs de risque et les lésions d'Alzheimer pourrait permettre d'interférer sur ces mécanismes et de développer un traitement efficace. Beaucoup de molécules et de stratégies thérapeutiques ont été testées ces dernières années, à commencer par l'immunothérapie. L'idée paraît simple : créer des anticorps qui iront cibler le peptide amyloïde et ainsi détruire les plaques. « C'est ce que l'on a appelé le vaccin », indique Luc Buée. Une stratégie qui s'est révélée décevante car elle ne ralentissait pas la dégénérescence, malgré une chute effective de la présence des plaques dans le cerveau. « Cibler les plaques et s'en servir d'indicateur de succès lors d'essais cliniques explique peut-être la somme considérable d'échecs », avance Frédéric Checler.

Deuxième stratégie : intervenir plus en amont, avant la formation des plaques, pour empêcher leur développement. Ainsi, « la connaissance en matière de maturation de précurseur des peptides amyloïdes révèle de nouveaux acteurs », explique Frédéric Checler. Une enzyme est particulièrement ciblée : la bêta-sécrétase, qui participe à la formation des peptides amyloïdes. En bloquant cette enzyme grâce à un inhibiteur, la cascade de réactions entraînant la maladie serait stoppée. « Chez l'homme, on a montré que cela inhibait l'enzyme à 70 % », précise Bruno Dubois. Frédéric Checler se veut optimiste : « Seule cette compréhension des mécanismes impliqués, et de leurs dysfonctions, permettra d'identifier des pistes pharmacologiques visant à bloquer le développement de la pathologie ou, tout au moins, d'interférer dans sa progression », estime-t-il.

Enfin, la dernière manœuvre à l'essai consiste à éviter l'agrégation de tau, en utilisant une molécule qui stabiliserait la protéine et l'empêcherait d'entraîner des dégénérescences neurofibrillaires. « Pour cela, on s'intéresse beaucoup aux polyphénols par exemple, présents dans le thé vert, le curcuma ou même le vin », indique Ronald Melki.

Mais si cette piste est exploitée à fond par l'industrie, les polyphénols restent difficilement métabolisables par le foie.

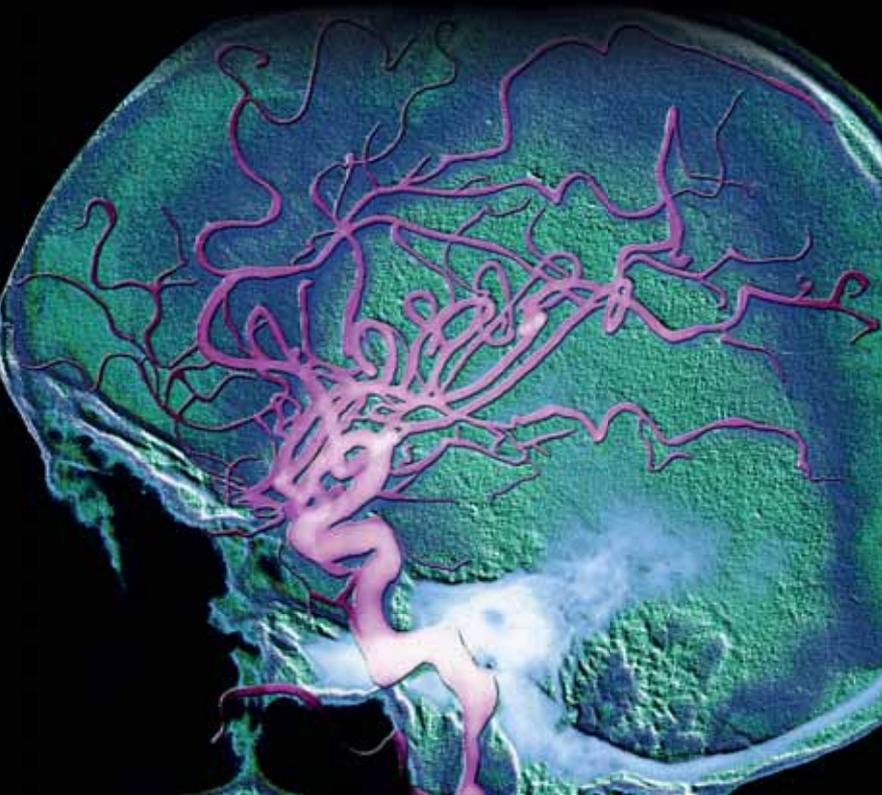
Pour l'instant, la majorité des pistes thérapeutiques curatives s'avèrent décevantes. « Beaucoup d'efforts et d'espoirs ont été mis sur l'immunothérapie notamment, avec quatre ou cinq molécules prometteuses, qui n'ont finalement pas été assez efficaces. Nous sommes très déçus pour les patients », reconnaît Bruno Dubois. « Ça fait presque 20 ans que l'on cherche à trouver une bonne combinaison, déclare Ronald Melki. Dans 10 ou 15 ans, nous aurons sûrement beaucoup plus de solutions ». Pour sa part, Frédéric Checler espère que « la maladie d'Alzheimer sera, si ce n'est vaincue, tout au moins contrôlée dans son évolution ».

Mieux accompagner les patients

Et si la réponse se trouvait finalement aussi dans la vie quotidienne des patients ? La stimulation leur permet en effet de garder une certaine autonomie. « Les proches et les malades font preuve d'une inventivité extraordinaire, c'est fascinant ! » s'enthousiasme Martine Bungener, qui relève que les aidants « ne veulent pas retirer ce qui a été important auparavant pour le malade, comme faire encore la cuisine. Et ça marche ! Les malades sont plus calmes, moins agressifs ». L'image dramatique de la maladie s'efface peu à peu... « Il faut comprendre que les gestes vont être lents, mais que ce n'est pas grave », renchérit-elle. Et le corps médical est en progrès constant pour améliorer l'annonce du diagnostic et l'accompagnement des patients. « Tout l'objectif est d'accompagner, sans perdre de vue la vie d'avant », résume ainsi la chercheuse. ■ L. G.



Échantillons de plasma et de liquide céphalo-rachidien humains en vue de doser les peptides bêta-amyloïdes et les protéines tau (Centre de recherche Jean-Pierre-Aubert, à Lille).



Et si la maladie d'Alzheimer était due à une mauvaise irrigation du cerveau ?

Les espoirs de la piste sanguine

En modélisant la circulation sanguine dans les vaisseaux les plus fins du cerveau, des chercheurs en mécanique des fluides tentent d'expliquer l'origine de la maladie d'Alzheimer. Avec, à la clé, un diagnostic plus précoce et peut-être des nouvelles pistes de traitement.

Bien que, depuis plus de dix ans, plusieurs pistes aient été explorées, aucun traitement n'existe à l'heure actuelle pour guérir la maladie d'Alzheimer ni même en ralentir l'évolution. Devant cette impasse, des voies de recherche alternatives et parfois inattendues émergent. Parmi elles, la mise en cause de dysfonctionnements précoces au niveau de la circulation sanguine du cerveau. Cette hypothèse soutenue par l'équipe du projet BrainMicroFlow³ pointe précisément le rôle des capillaires qui irriguent le cerveau, un réseau d'environ mille milliards de vaisseaux sanguins, chacun dix fois plus fin que le diamètre d'un cheveu, et qui viendraient à s'obstruer par milliers dès le stade initial de la maladie.

Une origine vasculaire de la maladie ?

« Notre hypothèse a de quoi surprendre puisque, depuis longtemps, la maladie d'Alzheimer est classée parmi les maladies neurodégénératives sans origine vasculaire », commente Sylvie Lorthois, chercheuse à l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse⁴ et porteuse du projet. Une hypothèse pourtant prise très au sérieux : le projet

s'est vu attribuer en 2014 un prix du Conseil européen de la recherche (ERC), qui récompense des travaux de recherche de pointe, originaux et porteurs d'idées en rupture. Avec à la clé 2 millions d'euros sur cinq ans, de quoi donner un véritable coup d'accélérateur aux travaux initiés depuis plusieurs années par la chercheuse.

« Actuellement, on estime à environ 30 % la baisse du débit sanguin cérébral chez les patients à un stade avancé de la maladie, soit une baisse équivalente à ce que nous pouvons expérimenter lorsque, assis au sol, nous nous relevons d'un seul coup, explique Sylvie Lorthois. Ce ralentissement de l'écoulement sanguin est connu depuis longtemps, mais il était considéré jusqu'à présent comme une conséquence de la mort des neurones observée dans la maladie

d'Alzheimer, et non comme une des causes possibles. »

Seulement voilà : l'IRM, la technique d'imagerie médicale la plus utilisée pour observer le cerveau, ne permet pas de voir à l'échelle de ces réseaux de capillaires.

Pour étudier leur rôle dans la survenue de la maladie d'Alzheimer, les chercheurs ont donc misé sur la modélisation. Et leurs modèles de mécanique des fluides, qui

simulent la circulation sanguine dans ces réseaux ultrafins, constituent une vraie première. Ils reproduisent en laboratoire l'écoulement du sang à travers des réseaux de canaux en silicone d'environ 10 micromètres de diamètre⁵, l'équivalent du diamètre réel des capillaires.

« Concrètement, nous faisons circuler des globules rouges à l'intérieur d'un réseau de canaux qui peuvent être organisés selon différentes géométries, en nid d'abeille par exemple. Grâce à un microscope équipé d'une caméra rapide capable d'acquérir plusieurs milliers d'images par seconde, nous pouvons suivre le déplacement des globules rouges dans les mailles du réseau et quantifier le débit sanguin à n'importe quel point du réseau, en y mesurant la concentration et la vitesse des globules rouges, explique la chercheuse. Ces expériences nous permettent d'étudier le lien entre l'organisation des capillaires et leur fonction, à savoir transporter le sang et donc l'oxygène et les nutriments jusqu'aux cellules du cerveau. Mais nous analysons également les conséquences d'un changement de cette organisation, lorsqu'un des canaux s'obstrue par exemple. »

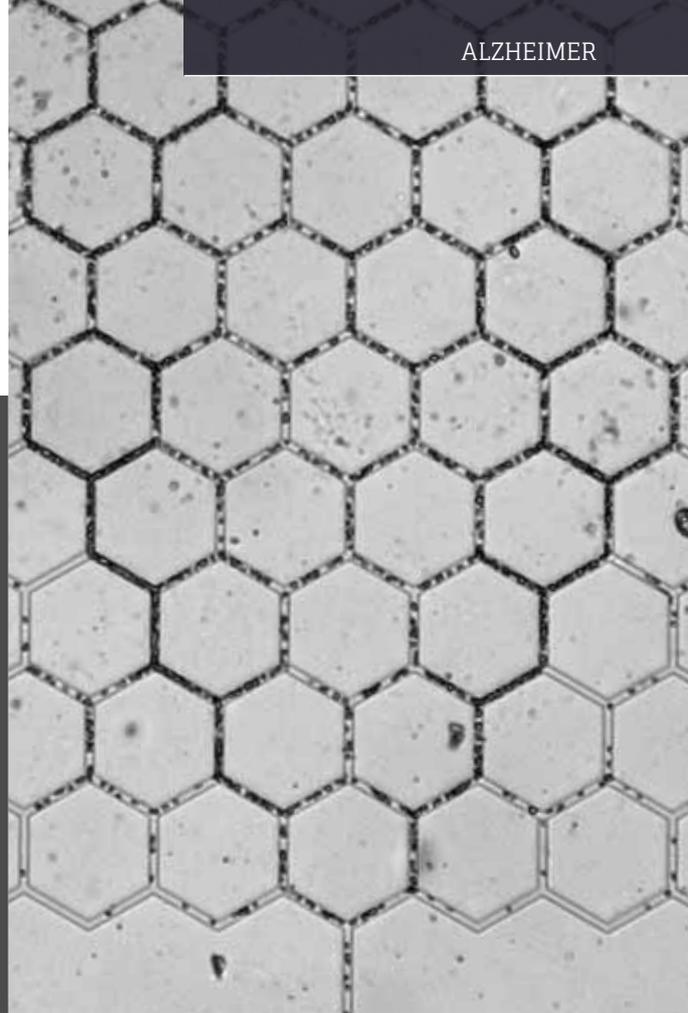
En intégrant les données issues de ces situations simplifiées mais fidèles à la réalité des écoulements sanguins, les chercheurs peuvent les extrapoler à des situations plus complexes. Ils ont ainsi déjà élaboré des modèles numériques de l'écoulement du sang dans un vaisseau mais aussi dans des réseaux composés de 15 000 à 1 000 000 de vaisseaux ! L'originalité de ces modèles réside dans la prise en compte, à chaque échelle, des phénomènes physiologiques complexes prépondérants, comme la présence des globules rouges par exemple dans les modèles d'écoulement du sang.

Une base de données anatomiques unique au monde

Pour s'approcher davantage de la réalité de la microcirculation sanguine chez l'humain, les scientifiques s'appuient sur deux ressources très spécifiques : des données anatomiques humaines ainsi que des expériences d'imagerie chez l'animal.

Le projet BrainMicroFlow bénéficie en effet d'une base de données anatomiques unique au monde. Initiée par l'équipe Inserm du Centre de neuro-imagerie de Toulouse, elle renferme des coupes anatomiques du système capillaire de cerveaux humains, issues de prélèvements *post-mortem* sur des personnes saines. Autant de photographies qui livrent de précieuses informations sur l'architecture normale des capillaires. À terme, cette bibliothèque devrait être enrichie de tissus prélevés cette fois-ci sur des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, ce qui permettrait de comparer les architectures.

Réseaux de canaux simulant les capillaires (les plus fins vaisseaux sanguins du corps humain). À l'aide d'un microscope, les chercheurs y observent la circulation de véritables globules rouges (ici en noir).

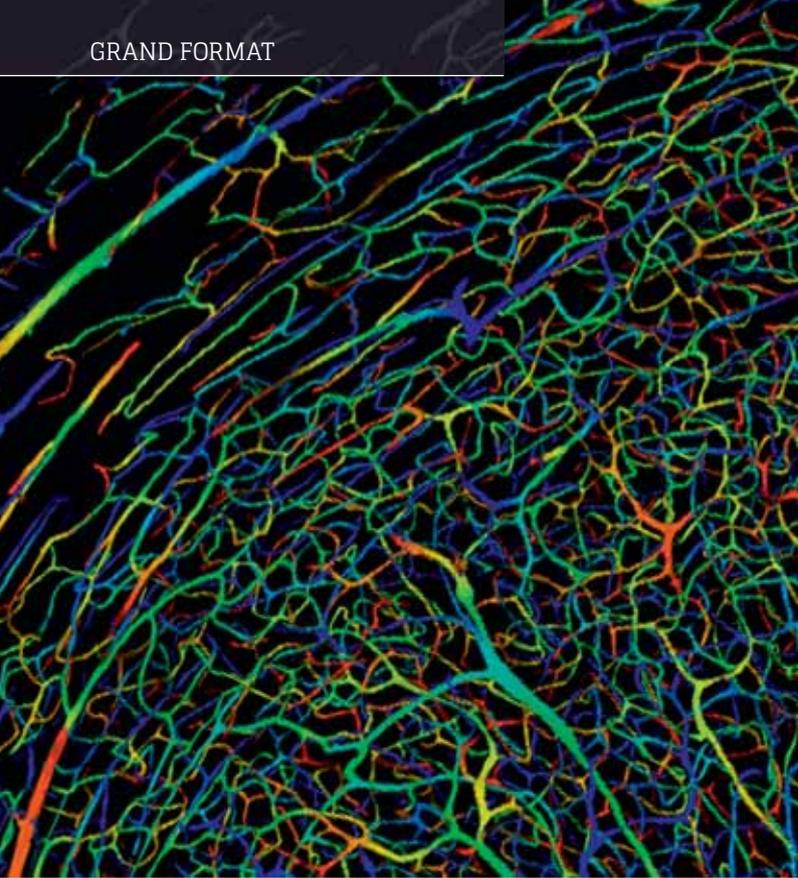


Par ailleurs, pour disposer de données sur la fonction des capillaires, les chercheurs recourent à l'imagerie *in vivo* chez la souris. La technique, développée par les partenaires américains du projet, permet d'observer en direct le déplacement des globules rouges dans le cerveau. Pionniers dans cette technique d'imagerie laser, ils sont aussi capables de boucher sélectivement un seul vaisseau préalablement choisi et de mesurer en temps réel l'impact de cette occlusion sur l'écoulement sanguin. « Ce sont des données précieuses pour valider nos modèles, d'autant qu'elles correspondent précisément aux perturbations que nous mettons en cause dans notre approche de la maladie d'Alzheimer. »

À mi-parcours du projet, les chercheurs voient plus loin. Leur prochain objectif est de mettre au point, grâce aux modèles de simulation de la microcirculation sanguine cérébrale, des modèles décrivant les échanges moléculaires (oxygène, nutriments, déchets métaboliques) qui ont lieu entre le sang et les cellules du cerveau. L'enjeu serait de déterminer comment les altérations de l'architecture des capillaires (réduction de leur nombre, obstructions, etc.) induisent des baisses de performances fonctionnelles du système microvasculaire, elles-mêmes susceptibles d'entraîner la dégénérescence des neurones.

« Ainsi, grâce à l'ensemble de nos simulations numériques, nous pourrions comprendre et mettre en images l'écoulement sanguin à différentes échelles du cerveau ainsi que les échanges moléculaires, explique Sylvie ...

3. Collaboration IMFT, Inserm/UPS Tonic, Cornell University (États-Unis). 4. Unité CNRS/INP de Toulouse/Université Toulouse Paul-Sabatier. 5. 1 micromètre = 0,001 millimètre.



Ensemble des vaisseaux sanguins (artères, veines, capillaires) d'un cerveau humain *post-mortem*, dans une zone de 300 micromètres × 2 millimètres × 5 millimètres.

© F. LAUVERSINSERM

De nouveaux au

Les chercheurs ne cessent de développer des techniques pour détecter plus tôt la maladie et aider les patients à mieux vivre avec. De l'oculomètre à l'humanoïde Juliette, tour d'horizon de ces nouveaux outils.

L'un des premiers défis posés par l'Alzheimer est son diagnostic. Si des progrès majeurs ont été réalisés récemment (*lire page 14*), la détection précoce de la maladie reste essentielle pour stimuler les patients et les aider à maintenir leurs capacités cognitives le plus longtemps possible.

Le besoin en méthodes de diagnostic simples et fiables a motivé l'équipe Kiwi⁶ du Loria⁷, en Lorraine, qui s'efforce d'adapter les services de type informatique aux besoins et préférences des usagers. Cela l'a conduite à chercher de nouveaux moyens de diagnostiquer les personnes souffrant de troubles neurodégénératifs comme Alzheimer, tout en sachant que les réactions de l'utilisateur face aux données d'un écran (clics, pages visitées, etc.) dépendent en grande partie de l'état de sa mémoire.

Des tests modernisés

Kiwi a développé une version numérisée de tests neuropsychologiques qui n'étaient jusqu'ici utilisés qu'en version papier. C'est le cas par exemple du TMT (Trail Making Test), au cours duquel le sujet doit relier un ensemble de points le plus rapidement possible. « *Concevoir des tests adaptés aux sujets visés – en l'occurrence des personnes âgées peu familiarisées avec les ordinateurs et souffrant d'altérations de leurs capacités physiques, visuelles ou motrices – s'est révélé assez complexe* », reconnaît Sylvain Castagnos, de Kiwi. Cependant, la numérisation des tests permet aux chercheurs de disposer d'un outil de diagnostic fiable et automatisé, susceptible de réduire le risque d'erreurs humaines dans la collecte des données.

La démarche de Kiwi a aussi permis d'améliorer les tests classiques en intégrant d'autres méthodes et outils d'exploration. Par exemple, l'utilisation d'un oculomètre – qui permet de suivre la direction du regard – peut se révéler utile pour déceler d'éventuels liens entre des gestes ou

... Lorthoïs. Une fois ces modèles validés à partir des mesures in vivo réalisées chez la souris, nous les transposerons à l'humain grâce à nos données anatomiques, en prenant en compte les différences d'architecture cérébrales entre les deux espèces. »

Ces travaux devraient ouvrir la voie à de nouvelles stratégies de diagnostic et de suivi du fonctionnement cérébral, qu'il s'agisse de cas de vieillissement normal, de la maladie d'Alzheimer ou même d'autres pathologies neurologiques. Si les chercheurs parviennent à relier les changements dans l'organisation physique des vaisseaux capillaires à des modifications biologiques, comme une baisse du débit sanguin, il deviendra possible en détectant ces signaux biologiques de déduire l'existence d'altérations dans le maillage des capillaires et, *in fine*, d'y remédier. De nouvelles stratégies de traitement pourraient alors voir le jour... **II S. B.**

“Grâce à nos simulations, nous pourrions comprendre l'écoulement sanguin et les échanges moléculaires.”

outils service des malades

des mouvements oculaires atypiques et la maladie d'Alzheimer. Les chercheurs ont d'ailleurs l'intention d'exploiter cet outil pour stimuler les patients par des exercices cérébraux susceptibles de ralentir la progression de la maladie.

En collaboration avec l'unité de gériatrie du CHU de Nancy, les chercheurs de Kiwi souhaitent collecter et comparer les données de trois populations de patients – Alzheimer, amnésiques non Alzheimer et sujets témoins – afin d'isoler les variables les plus à même de révéler la pathologie du patient. L'étape suivante consistera à élaborer les modèles mathématiques qui permettront de classifier le comportement des utilisateurs en temps réel et d'aboutir à un diagnostic précoce de la maladie.

Un diagnostic basé sur l'écriture

Parallèlement, à Évry, l'équipe Armedia⁸, du laboratoire Samovar⁹, développe actuellement une méthode de diagnostic différente des tests neuropsychologiques et de l'imagerie, basée sur l'écriture. « *L'écriture manuscrite constitue une activité de haut niveau qui fait appel à des facultés mentales de planification, d'anticipation et de régulation* », souligne la chercheuse Sonia Garcia-Salicetti. « *Une maladie*

neurodégénérative va détériorer ces facultés, ce qui aura un effet visible sur la façon d'écrire », complète son collègue Mounim El-Yacoubi.

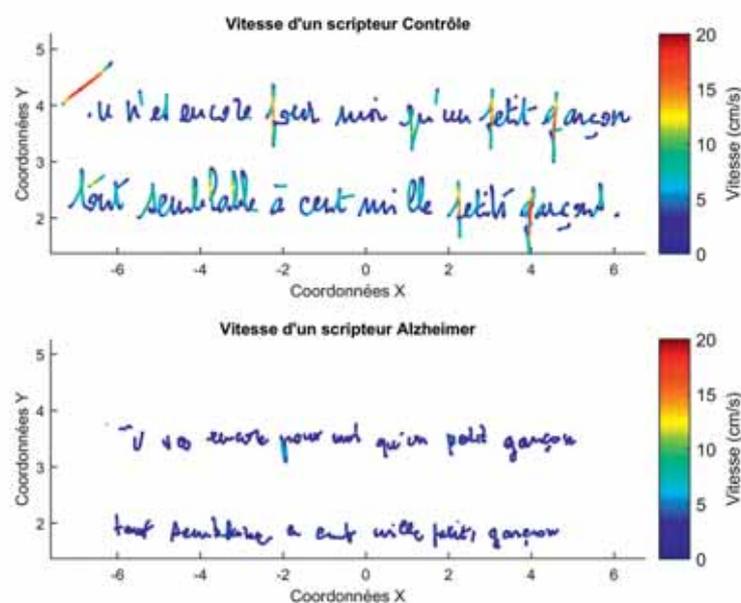
Le dispositif d'Armedia est constitué d'une tablette tactile recouverte d'une feuille de papier sur laquelle le sujet peut écrire. Bâti sur ce que l'équipe appelle une « activité naturelle », ce dispositif présente l'avantage d'être à la fois simple à utiliser et non invasif. La tablette numérise et enregistre la trajectoire du stylo en temps réel ; le dispositif est ainsi en mesure d'extraire et d'analyser des informations cinématiques dont l'interprétation va permettre de détecter toute dégradation significative des capacités d'écriture. Ainsi, le système peut reconnaître des symptômes moteurs couramment associés à Alzheimer tels qu'une lenteur, un tremblement, une raideur ou des saccades liées à une perte de la fluidité du geste d'écriture. La tablette enregistre non seulement les mouvements du stylo, mais aussi ceux produits à un centimètre de la surface, ce qui permet d'indiquer les hésitations de la personne.

En partenariat avec l'unité gériatrique de l'hôpital Broca, à Paris, l'équipe Armedia analyse les données provenant de malades d'Alzheimer, de personnes souffrant ...



Ci-dessus, version numérisée du Trail Making Test (test consistant à relier des points le plus vite possible), conçue par le Loria.

Ci-contre, test d'écriture sur tablette, développé par le Samovar, montrant une altération du tracé chez le sujet Alzheimer.



6. Knowledge, Information and Web Intelligence. 7. Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (CNRS/Univ. de Lorraine/Inria). 8. Applied Research for (multi) Media Enrichment, Diffusion, Interaction and Analysis. 9. Services répartis, architectures, modélisation, validation, administration des réseaux (CNRS/Institut Mines-Télécom/Télécom SudParis).

... d'un déficit cognitif léger et de sujets neurotypiques. Les chercheurs étudient en outre l'impact de l'âge sur la réalisation des tâches d'écriture afin de différencier les effets d'un vieillissement normal de ceux dus à un état pathologique. L'analyse statistique de ces données permet d'élaborer des modèles mathématiques qui serviront pour de futurs outils diagnostiques.

Juliette, un robot compagnon

Le diagnostic d'Alzheimer une fois posé, on sait que la maladie est, pour le moment, irréversible. Aider les patients à vivre avec elle au quotidien s'avère donc essentiel. C'est l'ambition d'un autre projet développé au sein d'Armedia par Mounim El-Yacoubi, en collaboration avec Mossaab Hariz.

Équipée d'une caméra lui permettant d'analyser le comportement des patients, Juliette est un robot humanoïde de type Nao. À l'heure actuelle, ce robot est capable d'identifier onze types d'actions apprises et modélisées en observant de manière répétitive des individus différents les effectuer ; par exemple, l'ouverture d'une porte ou la marche. Cet apprentissage permettra au robot de repérer comme pathologiques des mouvements ou des actions s'écartant du modèle « normal » ; ceci afin d'éventuellement alerter le personnel soignant. Juliette peut notamment être entraînée à reconnaître quand un malade a oublié de

prendre son traitement. « Le robot peut aussi détecter la chute d'un patient, s'enquérir de son état et prévenir l'équipe médicale ou la famille d'un éventuel danger », détaille Mounim El-Yacoubi.

Des pense-bêtes intelligents

Accompagner les patients Alzheimer est également l'objectif d'une autre équipe du Samovar, l'Acmes¹⁰, qui a développé des dispositifs d'assistance et d'accompagnement des activités routinières, tant à domicile qu'à l'extérieur. « Lorsque les patients évoluent dans un environnement peu familier (et même parfois familier), la désorientation et la déambulation sont des symptômes fréquents des troubles de mémoire et de cognition », explique l'informaticien Daqing Zhang, membre de l'équipe. Un appareil équipé d'un GPS a ainsi été conçu pour suivre les patients et modéliser leurs itinéraires sous forme de graphes. L'algorithme développé par l'équipe reconnaît en temps réel un itinéraire qui s'écarte trop du trajet habituel et envoie des alertes à l'utilisateur pour qu'il retrouve le bon chemin.

“La désorientation et la déambulation sont des symptômes fréquents des troubles de la mémoire et de la cognition.”

Pour l'intérieur, l'Acmes a mis au point des « pense-bêtes intelligents » capables de remédier aux troubles mnésiques. Ainsi, des capteurs « sensibles au contexte » disposés dans la maison peuvent reconnaître l'activité du patient pour y réagir intelligemment. Un message peut être envoyé via un haut-parleur ou un téléphone à une personne qui oublie de refermer la porte du four après avoir répondu au téléphone, par exemple. Une autre méthode consiste à agir sur la planification des tâches. Si un usager oublie de fermer la porte d'entrée à clé par exemple, le dispositif le lui rappellera en tenant compte de l'urgence et des autres tâches en cours. Dans l'attente de leur commercialisation, les prototypes de l'Acmes sont testés *in situ* dans plusieurs pays européens.

Le but poursuivi est d'offrir « des solutions à la fois peu coûteuses et peu intrusives », insiste Daqing Zhang. À défaut de disposer rapidement d'un traitement curatif pour la maladie d'Alzheimer, elles permettront d'améliorer la vie de ceux qui en sont affectés et celle de leurs proches. ■ F. L. L.



© CONTEXTES/ÉCOLE TÉLÉCOM-SUD PARIS

Juliette est un robot de type Nao, conçu par le Samovar, qui peut détecter la chute d'un patient et prévenir le personnel soignant (ici, à l'école Télécom SudParis).



© B. SMITH/ZUMA/REA

Les étonnantes aptitudes musicales des personnes atteintes d'Alzheimer ont favorisé la mise en place de nouvelles méthodes de prise en charge. Ici, une chorale organisée pour les patients, aux États-Unis.

Grâce aux travaux des neurosciences, on sait aujourd'hui que l'exposition à la musique a des effets positifs sur la mémoire, notamment chez les personnes atteintes d'Alzheimer. Le point sur les dernières découvertes.

Mémoire: le pouvoir de la musique

La musique aurait-elle ce pouvoir extraordinaire de s'enraciner profondément dans notre mémoire et de réactiver des capacités cognitives qu'on croyait perdues à jamais ? Dans les institutions qui accueillent les malades d'Alzheimer, il est fréquent de voir des patients entonner avec une vitalité inattendue *La Java bleue* et autres chansons apprises dans leur jeunesse, alors qu'ils ne se souviennent plus de leur prénom. Dans le même registre, les cliniciens ont depuis longtemps constaté que certaines personnes victimes d'accident vasculaire cérébral (AVC) et atteintes d'aphasie (troubles de la parole) étaient capables de fredonner les paroles de

leurs chansons favorites sans difficulté d'élocution, ou encore que des patients atteints de la maladie de Parkinson parvenaient à se déplacer lorsqu'ils synchronisaient leur marche sur un rythme ou un tempo musical. Comment expliquer ce phénomène ?

Une « symphonie neuronale »

« Lorsque la musique nous parvient, notre cerveau l'interprète à une vitesse de 250 millièmes de seconde, au cours de laquelle se joue une véritable symphonie neuronale », indique Emmanuel Bigand¹⁰, professeur de psychologie cognitive à l'université de Bourgogne et directeur du ...

10. Algorithmes, composants, modèles et services pour l'informatique répartie. 11. Il a coordonné l'ouvrage *Le Cerveau mélomane*, paru en 2014 aux éditions Belin.

... Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement¹². Concrètement, le son est d'abord traité par le système auditif, puis interviennent différentes aires cérébrales impliquées dans la mémoire, les émotions, la motricité (la musique nous donne envie de battre du pied), le langage... sans compter l'activation des circuits neuronaux de la récompense (production de la dopamine) lorsque nous écoutons une musique plaisante.

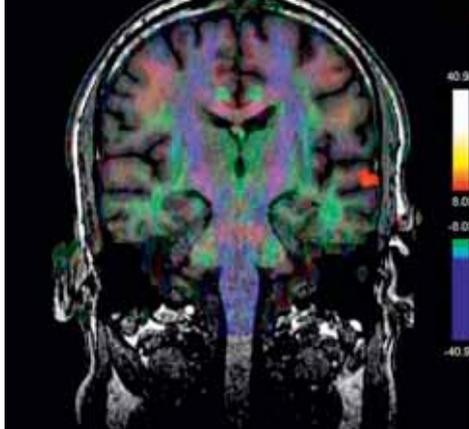
La musique est traitée par notre cerveau de manière automatique, sur un mode involontaire, et stockée dans notre mémoire « implicite ». « *Beaucoup de nos connaissances et de nos représentations musicales sont acquises par exposition naturelle*, précise Emmanuel Bigand. *Bien avant de naître, le bébé mémorise les œuvres musicales et est capable de les reconnaître un an après sa naissance, sans les avoir réentendues. À l'autre extrémité de la vie, même lorsque les activités linguistiques disparaissent, notamment aux stades avancés de la maladie d'Alzheimer, la musique reste accessible. Non seulement elle redonne le goût de communiquer, de sourire et de chanter, mais elle parvient à réveiller la mémoire et les événements qui lui sont associés.* »

Hervé Platel¹³, professeur de neuropsychologie à l'université de Caen, est l'un des premiers chercheurs, dans les années 1990, à avoir observé le cerveau exposé à la musique. Grâce à l'imagerie par résonance magnétique (IRM), il a identifié les réseaux du cerveau impliqués dans la perception et la mémoire musicale. Jusqu'alors, et de manière empirique, on considérait que le cerveau gauche était celui du langage (notamment l'aire de Broca et de Wernicke) et le droit, celui de la musique. Or la réalité est plus compliquée.

La persistance de la mémoire musicale

La mémoire musicale partage ainsi avec celle des mots des zones de l'hémisphère gauche, qui permet notamment de nommer l'œuvre musicale, alors que l'hémisphère droit assure l'analyse perceptive (reconnaissance d'une mélodie). « *Cette spécificité confère à la mémoire musicale une supériorité par rapport à la mémoire verbale*, détaille le chercheur. *Lorsqu'un malade présente une lésion à l'hémisphère gauche (langage), les aires homologues droites ne compensent généralement pas ce déficit. En revanche, le malade pourra généralement toujours percevoir, mémoriser la musique (sans la nommer) et en retirer du plaisir.* »

Cette persistance de la mémoire musicale s'observe particulièrement chez les malades d'Alzheimer, y compris dans les situations d'apprentissage. Des travaux réalisés par l'équipe d'Hervé Platel, en collaboration avec le docteur Odile Letortu, médecin dans l'unité Alzheimer de la maison de retraite Les Pervenches (Calvados), ont en effet montré que des patients (cas modérés et sévères de la maladie), a priori



Le son est d'abord traité par le système auditif (en rouge sur cette IRM), puis par les aires cérébrales impliquées dans la mémoire, les émotions, la motricité ou encore le langage.



“*Les sujets âgés ayant une pratique musicale auraient moins de risque de développer une maladie neuro-dégénérative.*”

incapables de mémoriser une nouvelle information, réussissaient à apprendre des chansons nouvelles (d'une dizaine de lignes) en moins de huit semaines (huit séances d'une heure trente). Et, fait encore plus étonnant : certains d'entre eux s'en souvenaient et pouvaient entonner les mélodies quatre mois après l'arrêt de l'atelier.

Ces résultats ont conduit les chercheurs caennais à répliquer l'expérience. Ils ont fait écouter à des malades de nouveaux extraits musicaux et verbaux (poèmes et livres audio) pendant huit jours (à raison d'une fois par jour). Et, une fois encore, ils ont constaté que « *les malades éprouvaient un sentiment de familiarité avec les mélodies écoutées deux mois et demi plus tôt. En revanche, ils ne gardaient plus aucun souvenir des poèmes et des histoires entendus, ce qui confirme l'étonnant pouvoir de la musique à s'inscrire durablement dans le cerveau* », détaille le chercheur.

Une étude est en cours, incluant un groupe de 40 malades d'Alzheimer (stades modérés et sévères) et un autre de 20 patients appareillés, pour identifier les aires impliquées dans l'acquisition de nouvelles informations. « *La question qui se pose*, explique Hervé Platel, qui pilote cette étude avec la chercheuse Mathilde Groussard, *est de savoir si cette capacité d'apprentissage est liée aux zones cérébrales qui fonctionnent encore ou à un circuit de mémoire alternatif qui prendrait le relais.* »



La pratique de la musique stimule les circuits neuronaux de la mémoire. Ainsi, des malades, *a priori* incapables de mémoriser une nouvelle information, réussissent à apprendre des chansons.

© P. ALLARD/REXIA

Quoi qu'il en soit, la mise en évidence de ces étonnantes aptitudes musicales chez les patients atteints d'Alzheimer a favorisé la mise en place de nouvelles méthodes de prise en charge. Certaines structures d'accueil proposent désormais des dispositifs fondés sur la familiarisation, comme l'utilisation d'une mélodie familière pour aider à la ritualisation de l'activité toilette, ou la mise en place de bornes de musique spécifique à chaque salle d'activité afin d'aider les patients à se repérer dans l'espace et dans le temps.

Un frein au vieillissement cérébral

Mais pour autant, peut-on parler d'effets thérapeutiques ? De nombreux travaux indiquent que, en cas de lésions cérébrales, la sollicitation des aires du cerveau impliquées dans le traitement de la musique avait un effet positif sur les aptitudes cognitives (attention, mémoire, traitement du langage) et contribuait à favoriser la plasticité cérébrale. « La répétition de stimuli musicaux contribue à favoriser les échanges d'informations entre les deux hémisphères et à augmenter le nombre de neurones qui assure cette communication, ce qui a pour effet de modifier la structure du cerveau. Chez les musiciens, ces modifications se traduisent par des changements visibles, sur le plan anatomique par exemple : une plus forte densité du corps calleux (réseau de fibres qui relie les deux hémisphères) par rapport aux non-musiciens », note Emmanuel Bigand.

En 2010, Hervé Platel et Mathilde Groussard ont pour la première fois mis en évidence l'effet de la pratique

musicale sur la mémoire. Ils ont observé chez les musiciens une plus forte concentration de neurones dans l'hippocampe, région des processus mnésiques.

« Ce résultat confirme que la pratique de la musique stimule les circuits neuronaux de la mémoire et suggère qu'elle permettrait de contrer efficacement les effets du vieillissement cérébral. Plusieurs études ont ainsi montré que les sujets âgés ayant une pratique musicale de quelques années ont moins de risque de développer une maladie neurodégénérative », souligne le chercheur.

Des bénéfices à tout âge

De même, la musique a des effets sur les aphasies (perte de l'usage de la parole) majoritairement consécutives aux AVC. En 2008, l'équipe de Teppo Sarkamo, du Centre de recherche sur le cerveau, à Helsinki en Finlande, mettait en évidence les effets de récupération du fonctionnement cognitif et émotionnel de l'écoute musicale chez les victimes d'AVC.

Des travaux similaires ont lieu actuellement au CHU de Dijon sur l'impact d'une stimulation musicale précoce chez les patients touchés par un AVC. « Les premières observations montrent non seulement que les patients éprouvent du plaisir à écouter des musiques qui leur rappellent des souvenirs, mais qu'ils se mettent spontanément à fredonner ces mélodies, explique Emmanuel Bigand, qui pilote cette recherche. Cette réaction pourrait faciliter la réorganisation fonctionnelle indispensable à la restauration des compétences linguistiques. »

Alors, devrions-nous tous écouter de la musique en boucle, chanter ou pratiquer un instrument pour stimuler notre cerveau et l'aider à lutter contre le vieillissement ? « Cela ne fait aucun doute », répondent de concert les chercheurs. « Les bénéfices sur le fonctionnement cognitif global du cerveau peuvent être observés à tous les âges, y compris chez les personnes âgées qui débutent tardivement la musique », précise Emmanuel Bigand, qui milite pour que, au même titre que le sport, la musique soit enseignée dès le plus jeune âge. **II C. L.**

AGENDA

Du 13 au 19 mars, aura lieu la 19^e édition de la Semaine du cerveau. Conférences, expositions, spectacles, ateliers et débats seront organisés dans plus de trente villes de France pour sensibiliser le grand public à l'importance des recherches en la matière. L'événement dont le CNRS est partenaire est coordonné par la Société des neurosciences.

» www.semaineducerveau.fr/2017

Du 29 mars au 2 avril, se déroulera à Vienne la 13^e conférence internationale sur les maladies d'Alzheimer et de Parkinson. Plusieurs chercheurs français font partie du comité scientifique de l'événement.

» <http://adpd2017.kenes.com>

L'étonnante chronique des eaux usées

TERRE

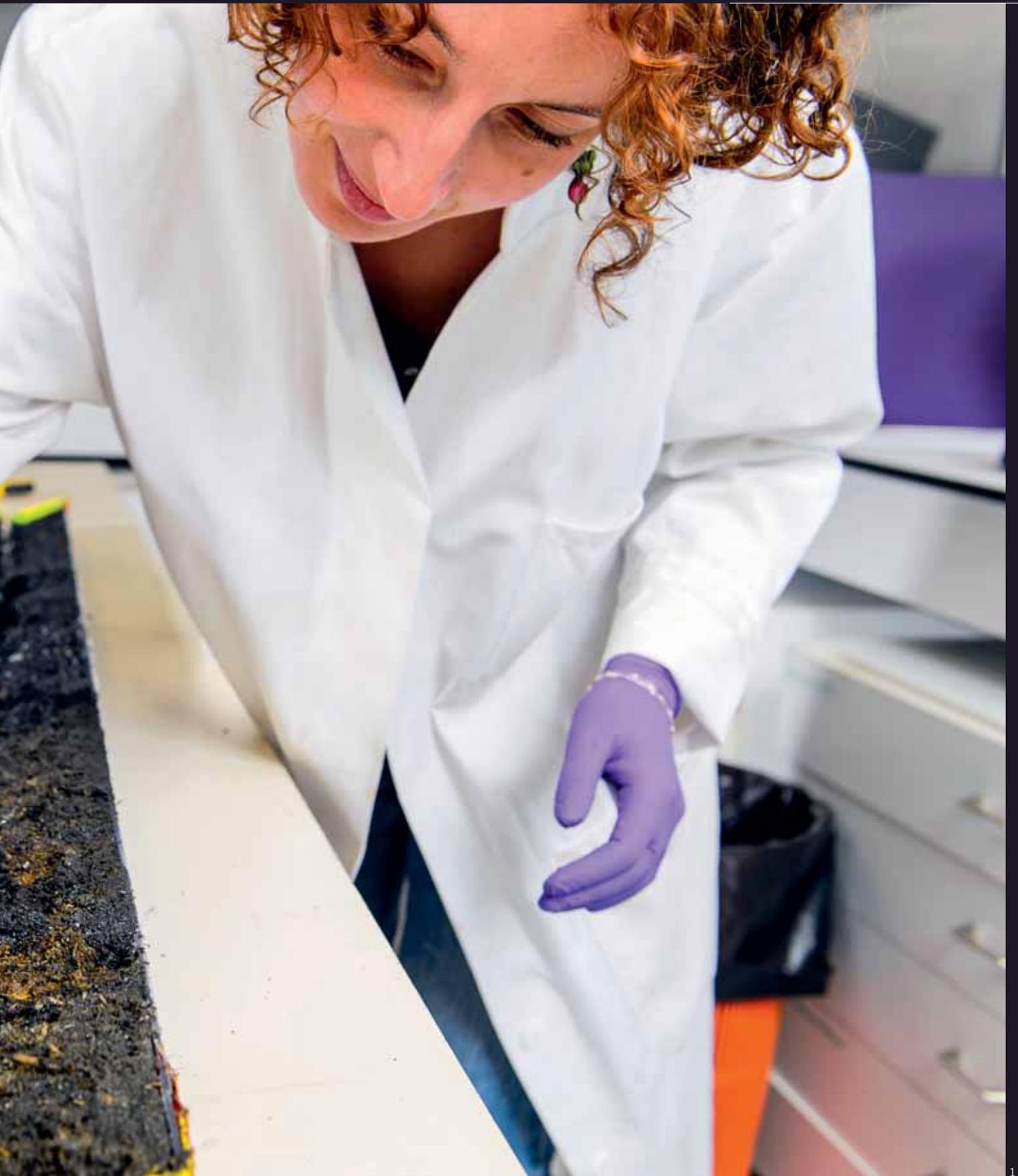
Géochimie. À l'occasion de la rénovation d'une chambre à sable, un dispositif d'assainissement situé à Orléans, des chercheurs ont pu accéder aux dépôts des eaux usées et pluviales transformés en sédiments et accumulés depuis 1942. Grâce à leurs analyses, ils espèrent reconstruire plus de 70 ans de l'histoire locale.

TEXTE CYRIL FRÉSILLON ET AUDREY DIGUET

PHOTOS CYRIL FRÉSILLON/ISTO/CNRS PHOTOOTHÈQUE

1. Une chercheuse de l'Institut des sciences de la terre d'Orléans (ISTO) observe l'alternance de matières organiques et minérales dans une carotte sédimentaire prélevée dans la chambre à sable.



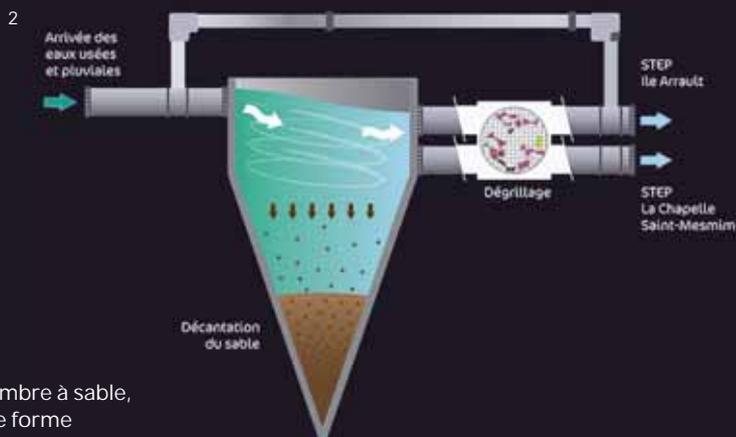


1





3



© AGGLO OREANS VAL DE LOIRE

2. La chambre à sable, bassin de forme conique, permet la décantation des particules les plus denses contenues dans les eaux usées, avant leur transfert vers deux stations d'épuration (STEP) de la ville.

3. En mars 2016, les chercheurs ont prélevé une carotte de 1,5 mètre de sédiments, couvrant la période allant de juin 2015 à mars 2016. Au total, 17 carottes ont déjà été prélevées.

4. La chambre à sable se situe sous le quai de la Madeleine, à Orléans. Elle traite les 7 millions de mètres cubes d'eaux usées et pluviales produites chaque année par le nord de l'agglomération.



4



5

5. Une fois prélevée, la carotte sédimentaire est découpée en deux parties dans sa longueur. Une moitié est conservée intacte comme archive, l'autre moitié servira pour différentes analyses.

6. Les prélèvements sont stockés dans la carothèque de l'ISTO. Cette chambre froide maintenue à 4° C empêche leur dégradation (par exemple par le développement de bactéries).



6



 Visionner l'intégralité du diaporama sur lejournal.cnrs.fr



7. Les sédiments contiennent des molécules (telles que la caféine, la nicotine ou l'aspirine). Pour analyser ces molécules, des échantillons sont prélevés dans la carotte puis placés dans un extracteur de « jus ». Le dosage des molécules dans ces jus constituera une photographie d'une période donnée.

8. En comparant les données recueillies, les chercheurs vont tenter de retracer une histoire de la ville et d'observer l'évolution de ses habitudes de consommation (alimentation, médicaments, cigarettes, plastiques, carburants, etc.).



7

8



10 ans après, le bon bilan de l'ERC

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR CLAIRE DEBÔVES

Le prestigieux programme de recherche européen fête ses dix ans cette année. Célébré par la communauté scientifique, l'ERC peut se féliciter d'un bilan quasiment sans nuage.



10 ans
d'ERC en
chiffres

40 000
publications
scientifiques

12,3
milliards d'euros
de budget total

50 000
chercheurs
impliqués

6
prix Nobel

7000
projets
financés

69
nationalités

Il y a un avant et un après-ERC. Avant, le financement de la recherche exploratoire ne faisait pas partie des responsabilités partagées de l'Union européenne. Les soutiens visaient la cohésion par le biais de réseaux, ou avaient des objectifs de développement économiques. La donne a changé avec le traité de Lisbonne (2007) et l'adoption du projet de « société de la connaissance ». Développer une recherche plus audacieuse en Europe devient une priorité : c'est l'idée activement défendue à Bruxelles par plusieurs lobbys de chercheurs. L'European Research Council (ERC) est donc créé en 2007 pour financer une « science aux frontières de la connaissance » inspirée par les idées des chercheurs,

toutes disciplines confondues. Les scientifiques postulent pour différents appels à projets : Starting Grant et Consolidator Grant s'adressent aux jeunes chercheurs (le premier, deux à sept ans après leur thèse, le second,

sept à douze ans après), tandis qu'Advanced Grant est destiné aux chercheurs confirmés. Les appels à projet sont répartis en 25 panels thématiques couvrant les sciences physiques et l'ingénierie, les sciences humaines et sociales et les sciences de la vie.

De l'exploration !

Depuis toujours, je voulais explorer une piste porteuse, à long terme, pour des applications diagnostiques et thérapeutiques de la maladie d'Alzheimer. Plutôt que de chercher des molécules rapidement testables, j'étudie très en amont les interactions moléculaires entre les ions zinc, les ions cuivre et le peptide amyloïde. Cette exploration, à la croisée de la chimie et de la biologie, pourrait permettre de concevoir des traitements efficaces. En d'autres termes, l'ERC me permet de mener des travaux de recherche fondamentale sur la maladie d'Alzheimer.

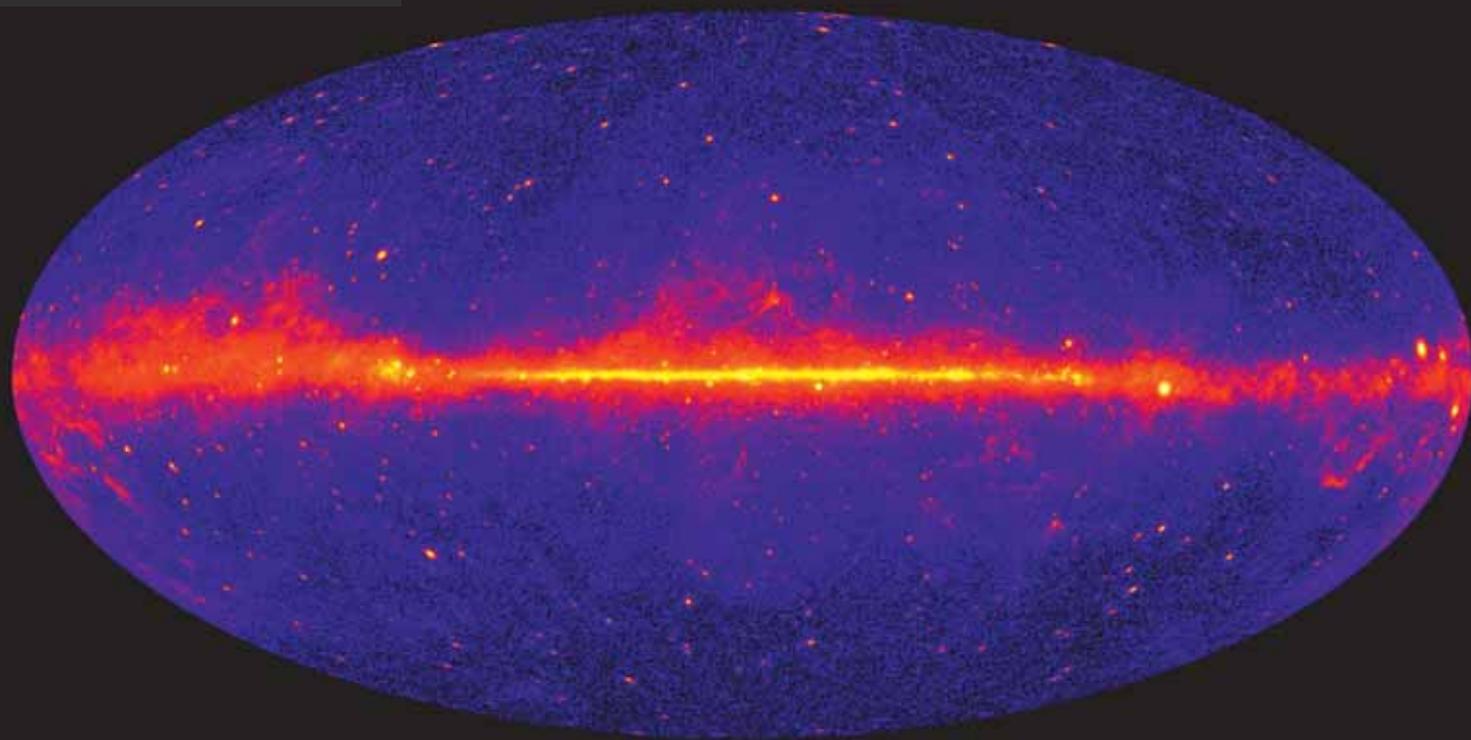


Christelle HUREAU-SABATER,
Laboratoire de chimie de coordination
Starting Grant 2014

Un appel d'air en Europe

« Le succès est spectaculaire : dès le premier appel Starting Grant, l'ERC reçoit près de 9 000 candidatures », raconte Jean-Pierre Bourguignon, mathématicien français, président du panel de mathématiques à l'époque et président de l'ERC depuis 2014. L'enthousiasme ne s'est pas démenti depuis, malgré le caractère hautement sélectif du programme (11 % de taux de succès en moyenne). Mais comment bouder de 1,5 à 2,5 millions d'euros ? Jusqu'à présent, jamais de telles sommes n'avaient été offertes à un chercheur pour conduire son projet en toute indépendance pendant cinq ans. Du coup, l'ERC crée un véritable appel d'air dans la recherche européenne alors que les budgets publics sont calculés au plus juste. Pour Bruno Chaudret, lauréat Advanced Grant ...

Vue du ciel capturée par Fermi, le télescope de la Nasa. Marianne Lemoine-Goumard, lauréate d'une bourse ERC en 2010, utilise ces données pour explorer les nébuleuses de pulsars.



© NASA/DOE/FERMI LAT COLLABORATION

Des publications !

J'étudie l'origine des rayons cosmiques à partir des données publiques du satellite Fermi de la Nasa. C'est un sujet novateur sur lequel la concurrence internationale est vive. Avec mon équipe, nous avons été très efficaces. L'ERC nous a permis de prendre de l'avance et de publier rapidement des résultats. Le projet se poursuit, aujourd'hui sans le financement de l'ERC. Nous avons réussi à pérenniser l'équipe par le recrutement d'un maître de conférences et grâce à l'accueil régulier de thésards et de postdoctorants.

© B. LAFOISE/ONIS PHOTOTHÈQUE



Marianne LEMOINE-GOUMARD,
Centre d'études nucléaires de Bordeaux
Gradignan (CENBG), Starting Grant 2010

... (2015) et président du Conseil scientifique du CNRS, « l'ERC, c'est de l'oxygène pour la recherche française ; cela permet aux scientifiques de relever la tête pour penser à long terme et entreprendre une recherche vraiment créative ».

Des répercussions collectives

En effet, l'ERC change la vie des heureux bénéficiaires. « Ce soutien est un véritable accélérateur aussi bien scientifique que de carrière. J'ai pu m'entourer de collaborateurs très pointus, c'est un immense enrichissement humain. Mes travaux sur le vote électronique ont fait un vrai bond en avant », se réjouit Véronique Cortier du Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications¹ (Loria), Starting Grant 2010. Cette opportunité signifie aussi beaucoup de travail et de responsabilités nouvelles.

1. Unité CNRS/Univ. de Lorraine/Inria.

Un tremplin !

Au début de ma carrière, je voulais me donner les moyens de mes ambitions, hisser mes recherches à un niveau international. Si je n'avais pas obtenu l'ERC, je ne serais peut-être pas resté travailler en France. Ma première bourse sur les levures a été le tremplin que je recherchais. J'ai été recruté à l'Institut Curie. Cinq ans plus tard, j'ai décroché ma deuxième ERC. Cela m'a permis de poursuivre avec des travaux sur les cultures de cellules humaines, dans une optique plus thérapeutique. En ce sens, l'ERC est aussi un accélérateur de découvertes !

© INSTITUT CURIE



Antonin MORILLON,
Dynamique de l'information
génétique : bases
fondamentales et cancer
Starting Grant 2008,
Consolidator Grant 2013

Par ailleurs, au-delà des individus primés, l'ERC a des répercussions collectives importantes. Le porteur de projet organise son travail comme il l'entend et constitue sa propre équipe de recherche en recrutant en moyenne six collaborateurs (docteurs, postdoc ou des chercheurs plus confirmés). Les 7 000 projets financés depuis 2007 impliquent donc en réalité quelque 50 000 chercheurs en Europe. De plus, les universités, écoles et organismes de recherche qui hébergent les porteurs de projet reçoivent 25 % du financement total (overheads), ce qui est loin d'être négligeable. « Au CNRS, nous nous efforçons de reverser l'essentiel de cette somme au projet à travers les ressources du laboratoire », signale Anne Peyroche, directrice générale déléguée à la science du CNRS.

Résultat ? En dix ans, six lauréats ERC ont reçu le prix Nobel et trois la médaille Fields. À noter que, parmi le trio des Nobels de Chimie 2016, le Néerlandais Ben Feringa avait obtenu deux Advanced Grants pour des projets liés aux moteurs chimiques moléculaires. En 2015, la première évaluation de 200 projets ERC terminés

concluait à 71 % de percées fondamentales et d'avancées majeures. « Plus que de recherche fondamentale, il convient plutôt de parler de recherche exploratoire puisque 20 % des projets sont de nature technologique ou appliquée », précise Jean-Pierre Bourguignon. On constate d'ailleurs que les chercheurs se tournent spontanément vers des sujets au cœur des préoccupations majeures de l'époque, comme les migrations de population ou l'énergie : « L'ERC finance 125 projets sur le thème de l'énergie, notamment les diverses formes de batteries, pour un total de 250 millions d'euros », informe-t-il.

Des recherches approfondies

D'autre part, grâce au programme complémentaire Proof of Concept mis en place par l'ERC, les chercheurs peuvent approfondir une piste applicative. C'est le cas de Valeria Nicolosi (Trinity College, Irlande), qui a vendu à l'industrie des droits sur un modèle de batteries flexibles, prolongement de ses recherches sur le graphène. Autre exemple, Ann Heylighen (University of Leuven, Belgique) réfléchit à une nouvelle façon d'aborder ...

Zoom sur la France

UNE PARTICIPATION MOYENNE... MAIS UN TAUX DE SUCCÈS ÉLEVÉ !

Alors qu'ils déposent deux fois moins de projets que leurs collègues britanniques, les chercheurs français ont un taux de succès à l'ERC supérieur : 15,6 % contre 13,8 %. Mais, au final, la France héberge 794 lauréats et la Grande-Bretagne 1365 (2007-2015). D'où la nécessité d'inciter de nouvelles candidatures, mais aussi de réfléchir à ce qui peut les freiner.

LES JEUNES CHERCHEURS MOBILISÉS

Les jeunes chercheurs français, lauréats ERC Starting Grant, ont un meilleur taux de succès que leurs aînés (17 % contre 14 % pour les autres Grant) et remportent un peu plus de la moitié des bourses attribuées à la France en 2015. Pression à la publication, nécessité de remporter des appels à projets

pour obtenir des financements conséquents... l'ERC constitue une opportunité pour lancer sa carrière ! Les sciences humaines et sociales sont le contre-exemple, avec de bien meilleurs résultats à l'ERC pour les Advanced Grant.

DES PICS D'EXCELLENCE

Dans certains des 25 panels thématiques de l'ERC, les Français ont des résultats impressionnants au regard de la moyenne européenne. C'est le cas en mathématiques, avec 28 % de taux de succès pour les Starting et Consolidator Grant. Tous niveaux confondus, les chercheurs français se distinguent également par des taux de succès qui dépassent 20 % en informatique, sciences cognitives, biologie de la santé et ses applications, ingénierie des systèmes, économie (chiffres 2015).

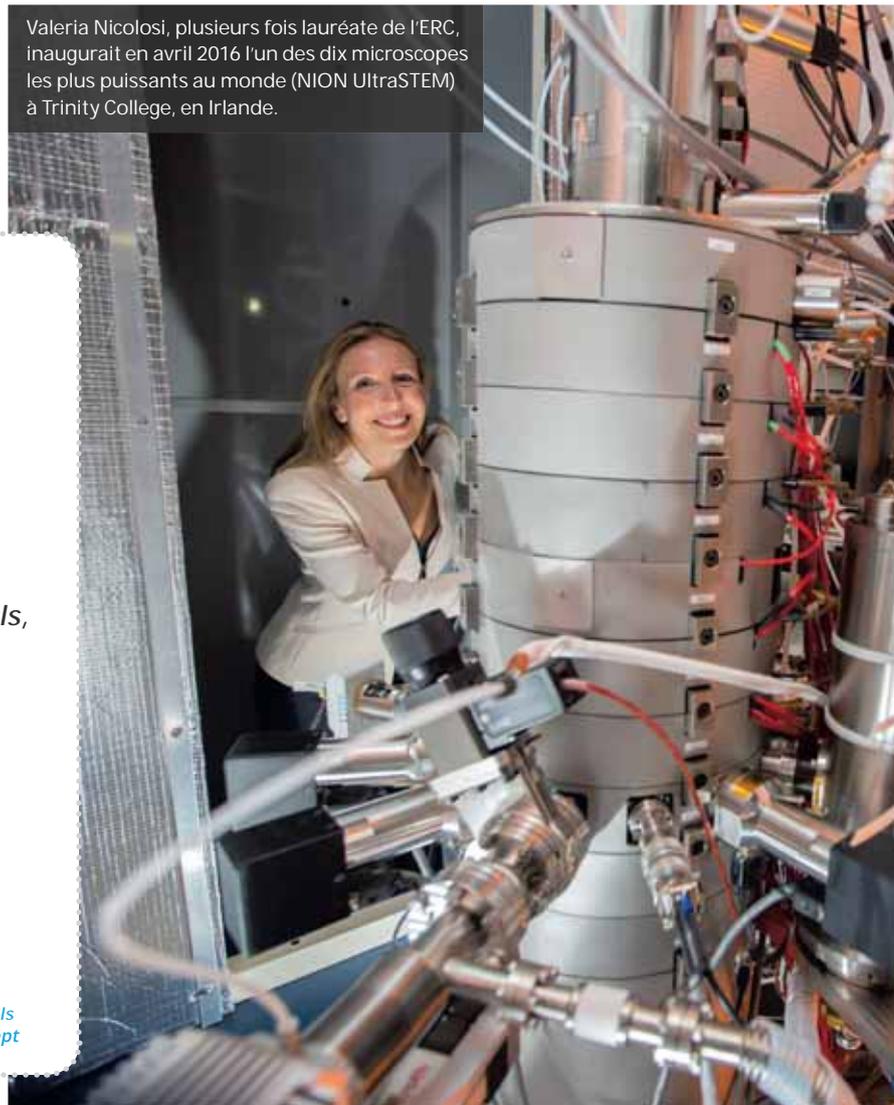
Sources : ERC, PCN ERC

Des applications !

J'ai bénéficié successivement de cinq bourses ERC et au fil du temps, mon équipe est passée de cinq – pour ma première bourse Starting Grant – à 32 chercheurs aujourd'hui. Cela m'a permis de conduire des recherches fondamentales sur la science des matériaux, à l'origine de nombreuses applications. J'ai pu tisser des partenariats avec plus de dix industriels, comprenant des brevets aussi bien que des collaborations scientifiques. C'est l'exemple vivant que financer la recherche aux frontières de la connaissance peut déboucher sur des applications de court terme.

Valeria NICOLOSI,
Characterisation and Processing of Advanced Materials
(CPAM) group (Trinity Collège, Irlande), Proof of Concept

Valeria Nicolosi, plusieurs fois lauréate de l'ERC, inaugurerait en avril 2016 l'un des dix microscopes les plus puissants au monde (NION UltraSTEM) à Trinity College, en Irlande.



... en architecture la question de l'accessibilité des lieux de vie aux personnes handicapées. Elle a imaginé un service de conseil aux architectes basé sur l'expertise des personnes handicapées.

Du côté de la Commission européenne, la mise en place du mode de gouvernance de l'ERC a été un autre tournant majeur. En effet, l'ERC est piloté par un conseil scientifique assisté d'une agence exécutive et non directement par l'administration bruxelloise. Ce qui bien sûr n'exempte pas l'ERC et ses lauréats de devoir satisfaire à certaines des exigences de la Commission en matière de justification des coûts ! Toujours est-il que les 22 scientifiques qui forment le conseil scientifique de l'ERC ont mis en place

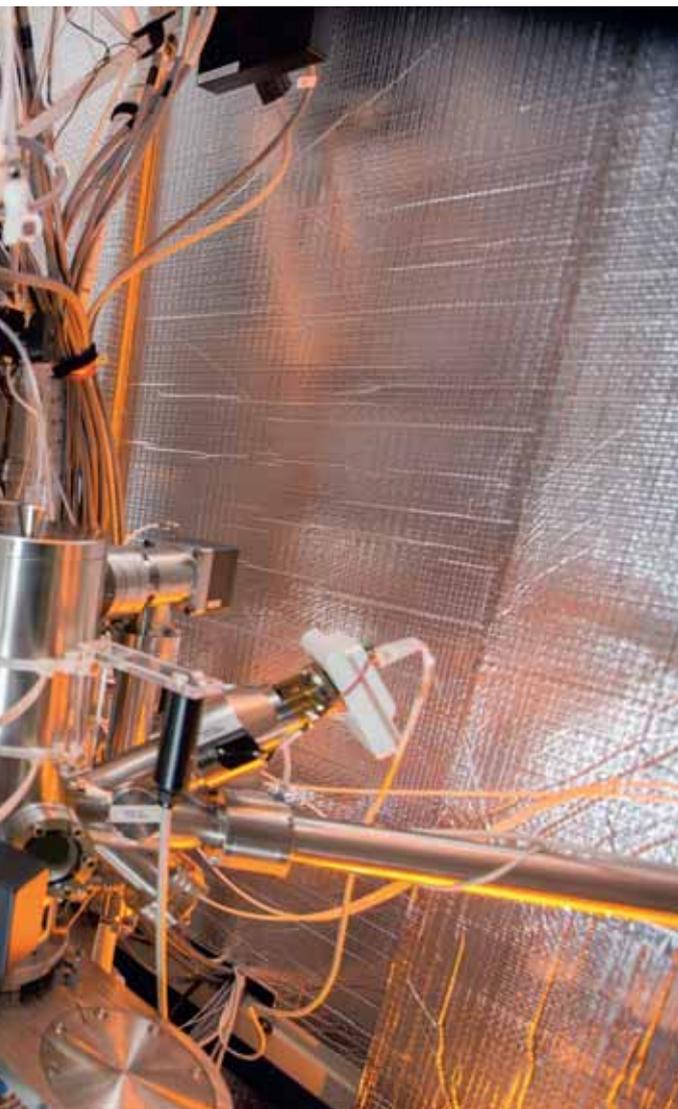
un mode d'évaluation des projets qui est devenu une référence dans le monde. « Le Conseil scientifique a la responsabilité de choisir les membres des jurys – qui travaillent avec la qualité scientifique pour unique critère de sélection – parmi les meilleurs spécialistes dans leurs domaines », explique Jean-Pierre Bourguignon. L'ERC est également réputé pour son engagement sur les questions d'« Open Access », d'égalité femmes-hommes et d'intégrité scientifique.

Un budget à la hausse

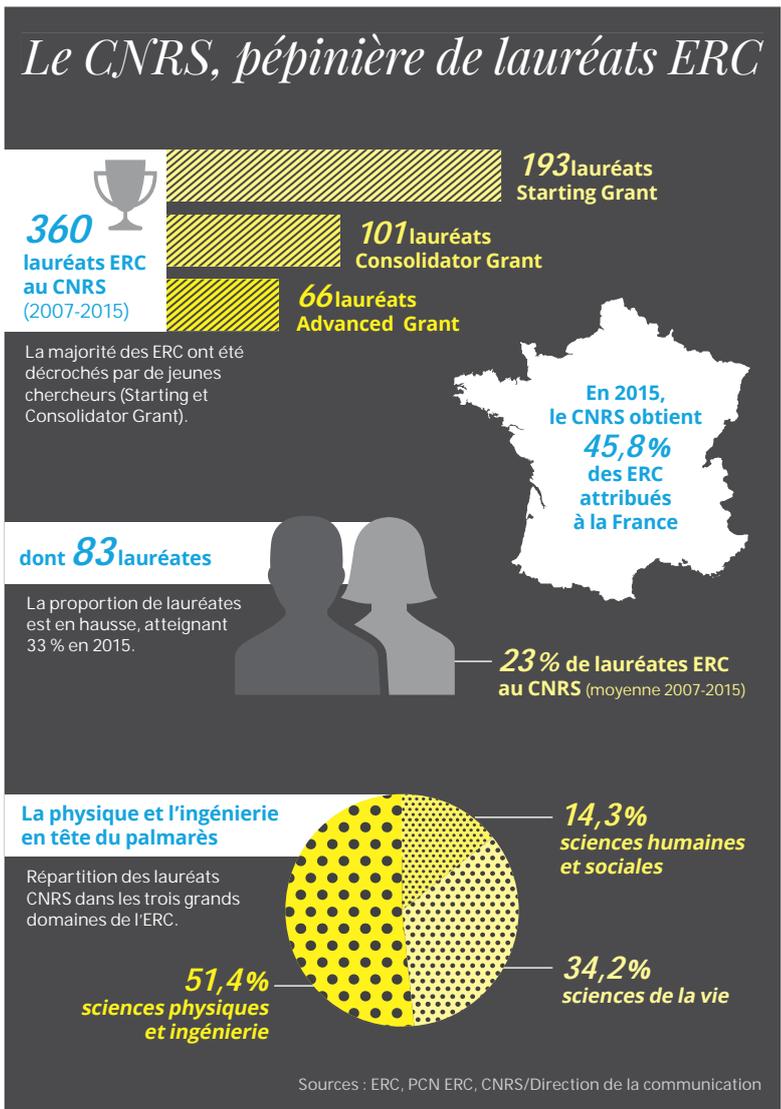
Accompagnant le succès du programme, le budget annuel de l'ERC est passé de 300 millions d'euros en 2007 à 1,6 milliard en 2016. « L'agence exécutive emploie aujourd'hui environ

450 personnes pour gérer 5 000 contrats actifs » signale Jean-Pierre Bourguignon. Autre signe fort, le modèle ERC influence l'organisation de la recherche dans plusieurs pays, certains l'ayant dupliqué à l'échelle nationale. Par ailleurs, en France, l'Agence nationale de la recherche (ANR) a récemment créé « Tremplin-ERC », un financement destiné aux chercheurs très bien évalués, mais finalement non financés par l'ERC faute de crédits, afin de les soutenir dans une nouvelle candidature.

Par son impact, l'ERC a bousculé le fonctionnement traditionnel de la recherche. « Les chercheurs développent leurs propres idées hors de toute contrainte institutionnelle et cela percuté l'ordre établi, relève Philippe



© AMBER, TRINITY COLLEGE DUBLIN



Roussignol, point de contact national (PCN) de l'ERC en France. *N'oublions pas qu'un des objectifs de l'ERC est de faire émerger une nouvelle génération de chercheurs au leadership suffisant pour mener de grands projets scientifiques* ». Cette nouvelle donne a pu susciter des critiques sur l'élitisme du programme et, malgré tout, sur un certain formatage qui excluait des personnalités (moins charismatiques), des recherches plus collectives (en physique des particules, par exemple), voire des pays moins organisés pour accompagner les candidats (au centre et à l'est de l'Europe). De plus, les chercheuses européennes n'obtiennent que 26 % du total des bourses, bien que, depuis 2015, leur taux de succès soit supérieur à celui des hommes ...

De l'utilité sociale !

J'ai présenté un projet à l'ERC pour résoudre des problèmes mathématiques difficiles avec des collaborateurs spécialistes de domaines complémentaires du mien. L'objectif ultime de nos travaux est la détection simultanée, dans l'alimentation ou dans l'eau, de plusieurs substances toxiques. Il me semble important aujourd'hui de mettre en avant ce critère d'utilité sociale de la recherche pour le citoyen européen.



© P. COMON

Pierre COMON,
Grenoble Images Parole Signal Automatique (GIPSA-lab)
Advanced Grant 2012

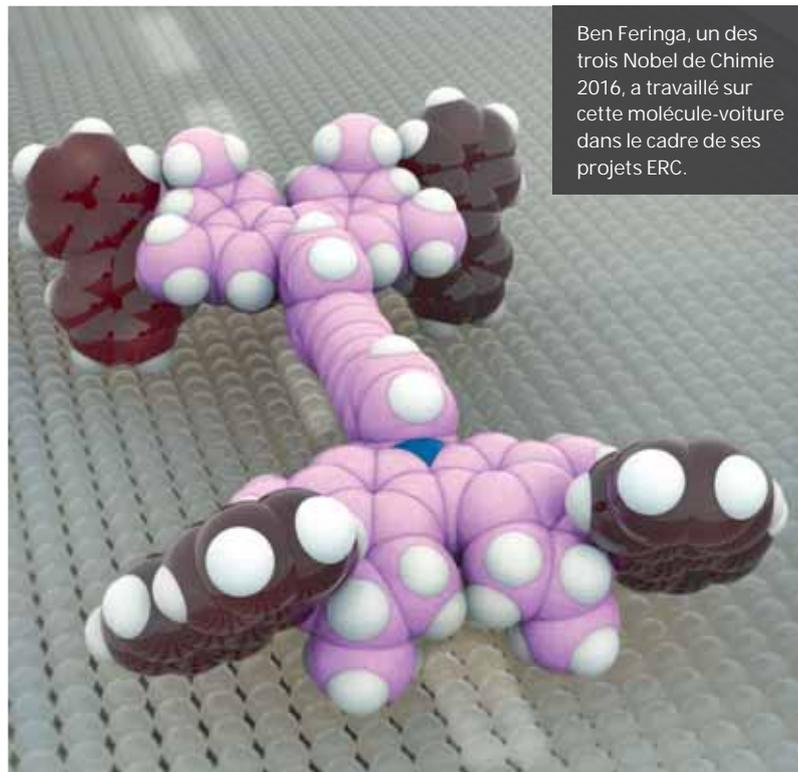
Du fromage !

Grâce à mon ERC, j'ai pu commander pour plusieurs milliers d'euros de fromage sur Internet ! En effet, j'étudie la biologie des champignons du groupe Penicillium, responsables de la fabrication de fromages comme le brie, le camembert et le roquefort. Nous avons découvert que la manière dont les humains ont utilisé ces champignons pour fabriquer les fromages a modifié leur structure génétique. Il s'est produit un transfert horizontal entre les génomes des différents champignons. Ce résultat a eu d'importantes répercussions dans la communauté scientifique mais aussi dans la sphère médiatique !

© ARTFOTOSWEB



Tatiana GIRAUD,
Écologie, systématique et
évolution (ESE)
Starting Grant 2012



Ben Feringa, un des trois Nobel de Chimie 2016, a travaillé sur cette molécule-voiture dans le cadre de ses projets ERC.

© R. ANDRADE, 3DCIENCIA/SPL/COSMOS

... (Consolidator et Advanced Grant). Enfin, le projecteur mis sur les porteurs de projet a parfois ravivé la discussion autour de la politique de l'excellence. Pour ce qui est du CNRS, Anne Peyroche tranche la question : « L'ERC est une forme de l'excellence parmi d'autres. Nous avons au CNRS quantité de chercheurs qui se posent des questions de fond, qui peuvent transgresser les limites et faire avancer la science, c'est ce qui importe avant tout ».

Au regard d'un tel bilan, l'avenir de l'ERC pourrait sembler assuré.

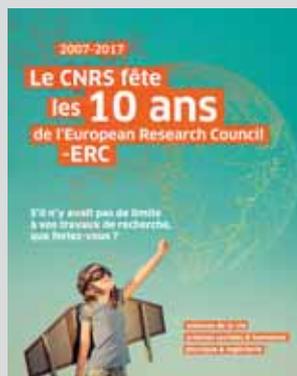
Pourtant, en 2015, dans le cadre de la mise en place du Plan Juncker, la Commission européenne a tenté de ponctionner le budget de l'ERC. Elle a dû reculer face à la mobilisation de la communauté scientifique, relayée par des organismes comme le CNRS et la Max Planck Gesellschaft. Par ailleurs, des idées ont été avancées pour faire évoluer son statut : organisation intergouvernementale, fondation autonome ou encore structure réintégrant le giron de la Commission européenne, etc. D'où la vigilance du président de l'ERC dans le contexte actuel de révision à mi-parcours des programmes de recherche et de préparation du prochain programme-cadre : « En dix ans, l'ERC est devenu incontournable en Europe, mais pourtant rien n'est acquis. L'objectif est bien sûr de consolider son financement et son indépendance, notamment administrative, afin de le rendre encore plus efficace et d'élargir le socle des chercheurs qui en bénéficient en Europe. » ||

Retrouvez les 360 lauréats du CNRS sur le site « Le CNRS et l'ERC », en ligne depuis janvier 2017. Tourné vers la communauté scientifique française et internationale, ce site bilingue est un portail unique qui permet d'encourager et d'accompagner les chercheurs désirant postuler à l'ERC. Il comprend notamment 17 témoignages de lauréats du CNRS.

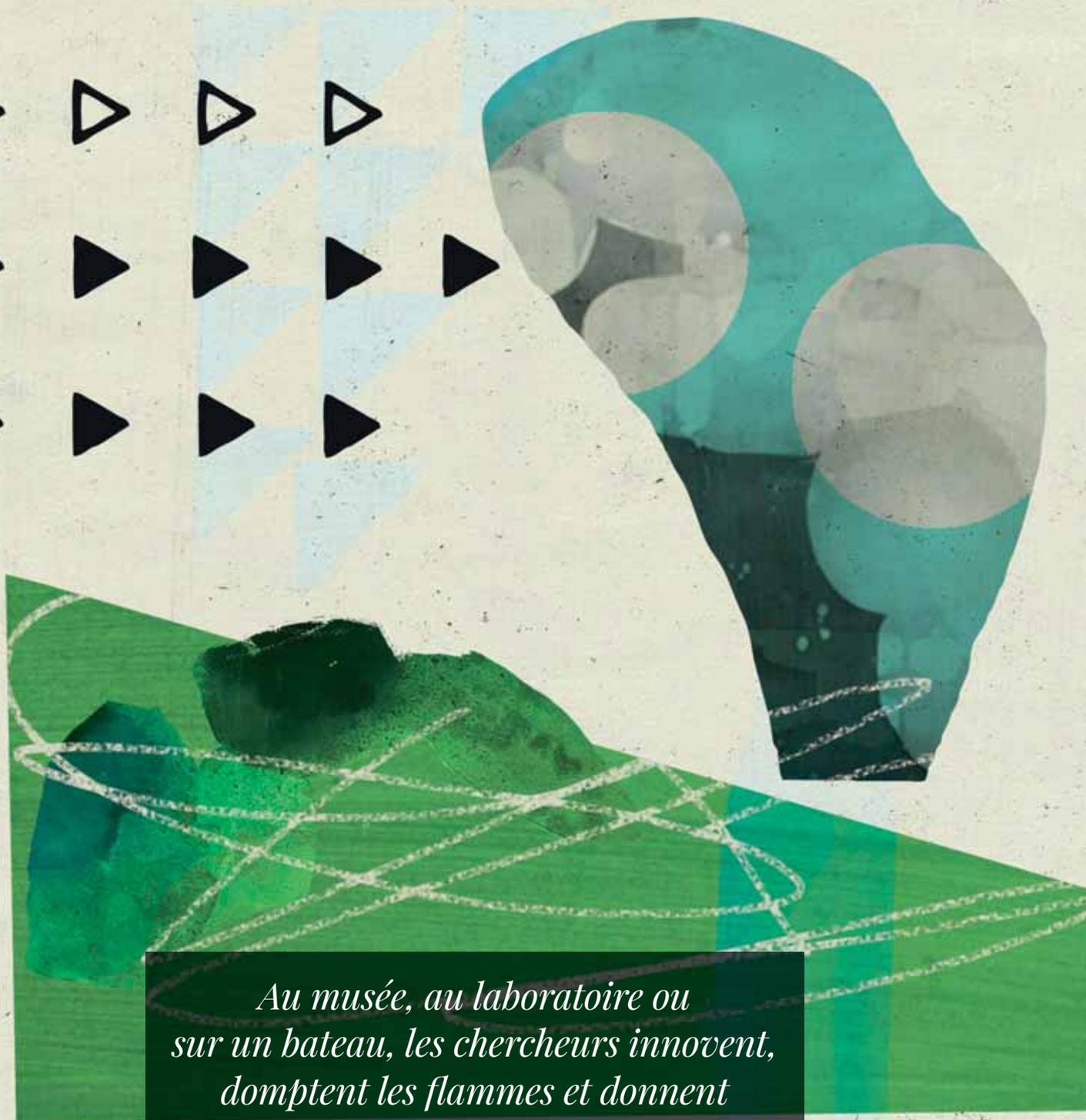
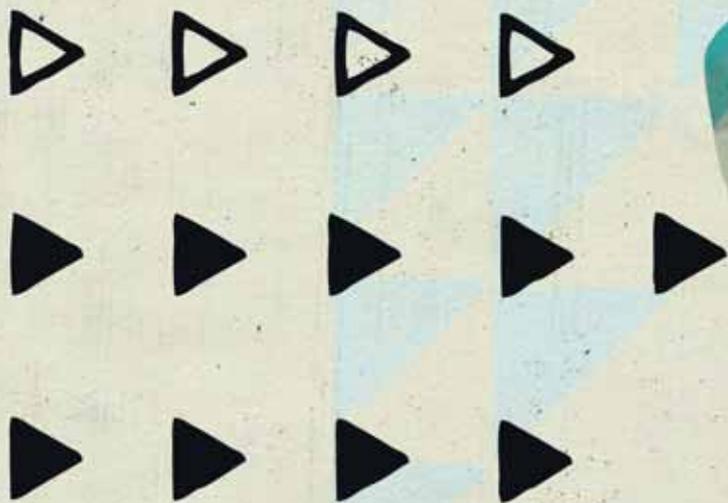
>> erc.cnrs.fr

En mars 2017, les célébrations des 10 ans de l'ERC seront organisées partout en Europe. Le CNRS s'y associera avec plusieurs événements prévus dans ses délégations régionales.

>> erc.europa.eu/ERC10yrs/home



EN ACTION



*Au musée, au laboratoire ou
sur un bateau, les chercheurs innovent,
domptent les flammes et donnent
du sens aux données.*

SOCIÉTÉS



NUMÉRIQUE



Études visuelles. Savoir ce que l'on perçoit devant une œuvre d'art, c'est l'objectif d'Ikonikat, une application développée par des chercheurs du CNRS. À partir du 22 mars, elle sera entre les mains des visiteurs de l'exposition « Le Mystère Le Nain », au musée du Louvre-Lens. Et fera œuvre utile, tant pour l'histoire de l'art que pour le public.

PAR DAPHNÉE LEPORTOIS

Ikonikat, un autre regard sur l'art

Is auront devant eux des tableaux saisissants du XVII^e réalisés par les frères Le Nain et pourtant... le nez sur l'écran tactile d'une tablette. Pas la peine de maugréer devant ce que vous prendrez peut-être pour une fâcheuse tendance à négliger les chefs-d'œuvre de la réalité et à se plonger dans le virtuel. Déjà, « *parce que le public ne met pas du tout en concurrence ces deux types d'expériences, fussent-elles au même endroit* », précise Marie Lavandier, directrice du Louvre-Lens, qui prend pour exemple le guide multimédia du musée, dont les animations en 3D dynamiques orientent justement le regard du public vers l'œuvre. Mais aussi parce que sur les tablettes se trouvera un outil de collecte réalisé par des chercheurs du CNRS. Son nom : Ikonikat. Pour Ikonik Analysis Toolkit, soit boîte à outils d'analyse iconique. En clair : il s'agira pour chacun de montrer – sans avoir recours aux mots – ce qu'il pense pertinent de voir dans une image. Concrètement, les yeux des visiteurs passeront des peintures accrochées aux murs à leurs reproductions numériques sur une tablette ; et leurs doigts pourront entourer virtuellement les personnages, tracer des droites ou des courbes d'un gros trait rouge – un peu comme sur Snapchat pour les plus jeunes, ou sur Paint mais sans l'aide d'une souris pour les autres. Le but : aider les chercheurs à mieux comprendre la réception de ces images d'art. Sans compter que les regards des 600 participants attendus



© C. PICARD-LIMPEUS

▼ [Le Jugement de Salomon, de Jean-Baptiste Wicar \(1785\), était au cœur d'un projet éducatif sur la violence auprès d'élèves de CM2, en juin 2016 à Lille...](#)

pourront aussi susciter moult questionnements quant à la définition d'un chef-d'œuvre, la façon d'inclure le public au sein d'un musée, celle d'éduquer à l'art... ou même d'enseigner la biologie !

Un questionnaire visuel

Le sociologue Mathias Blanc, coordinateur du projet ANR VISUALL et chercheur à l'Institut de recherches historiques du Septentrion¹, est à l'origine de ce projet multidimensionnel qui mêle histoire de l'art, sociologie et sciences informatiques. Pour approcher au plus près la réception des œuvres par les publics, il n'a pas voulu choisir entre les questionnaires leur demandant de décrire ce qu'ils voient et l'eye-tracking (ou oculométrie), qui consiste à enregistrer via une caméra les mouvements oculaires afin de savoir où le regard se pose. Il a opté pour une autre approche, innovante en France et qui fait écho outre-Rhin aux pratiques des chercheurs en histoire de l'art et en sciences sociales pour l'analyse des images : l'utilisation du tracé. Ainsi, au lieu de pousser les observateurs à trouver des mots adéquats pour décrire leur expérience visuelle ou de

1. Unité CNRS/Université de Lille 3.

ne prendre en compte que l'endroit de l'œuvre où leurs yeux se posent sans savoir s'ils regardent vraiment cette zone ou bien ne font que l'effleurer du regard, il a voulu mettre en place un « questionnaire visuel » : « Pourquoi demander à un public de dire ce qu'il voit, alors que nous pouvons lui demander de nous le montrer ? » résume-t-il. Du coup, en invitant les spectateurs à pointer les éléments et lignes de force d'un tableau qui attirent leur regard et qu'ils estiment importants en les signalant grossièrement avec leurs doigts sur sa reproduction numérique, exit la barrière sociale de la langue. Et celle de l'âge aussi. « La force de cet outil, c'est l'esquisse, qui est un dénominateur commun », appuie Cécile Picard-Limpens, ingénieure et docteure en informatique, qui a travaillé au développement d'Ikonikat aux côtés de l'ingénieur informatique Julien Wylleman.

Car derrière un même énoncé peuvent se cacher parfois des conceptions divergentes. Ainsi du tableau *La Laitière*, de Vermeer, montré à des élèves de CM2 et à l'équipe enseignante. Enfants comme adultes étaient d'accord pour décrire le tableau avec la même proposition langagière, à savoir « la laitière verse le lait dans le pot ». Sauf que l'utilisation d'Ikonikat a révélé que les adultes montraient d'abord la laitière, le sujet de la phrase, tandis que les enfants commençaient par le pot et les mains du personnage, et se concentraient donc sur l'action

Les frères Le Nain à l'honneur

Du 22 mars au 26 juin 2017, le musée du Louvre-Lens accueille la première exposition consacrée aux frères Le Nain (XVII^e siècle) depuis plus de trente-cinq ans. Elle mettra en lumière tous les aspects de l'art de ces trois peintres, des petits cuivres aux scènes paysannes, sans oublier les tableaux religieux et mythologiques. Outre l'expérience menée par l'équipe de Mathias Blanc, un « workshop » (colloque-atelier) aura lieu du 28 au 31 mars, réunissant des équipes de recherche françaises, allemandes et autrichiennes pour présenter plusieurs approches de l'analyse d'image. Dans ce cadre, le dispositif Ikonikat pourra être expérimenté par les visiteurs sur sept peintures des frères Le Nain.

>> www.louvreens.fr

▲ *Repas de paysans (1642), de Louis Le Nain.*



© MATHIEU RABEAU/RNMI-GRAND PALAIS (MUSÉE DU LOUVRE)

– peut-être parce qu'ils avaient en tête la séquentialité de la publicité Nestlé et avaient reconnu « la dame des yaourts ». « Ils disent apparemment la même chose mais ne montrent pas les éléments dans le même ordre », ponctue le sociologue.

Une lecture gestuelle

Et c'est là que les sciences de l'informatique acquièrent toute leur importance. Une séance avec une classe d'une vingtaine d'enfants, ce n'est pas moins de 400 tracés ! Il ne suffisait donc pas de demander aux élèves d'annoter des feuilles de papier calque posées sur une photocopie A4. Il fallait un outil permettant de récolter puis de traiter ces données, d'obtenir des statistiques iconométriques sur l'enchaînement des tracés et ainsi de repérer ces différences de cheminement dans la lecture de l'image. « Au début, c'est de la pure ingénierie », précise Cécile Picard-Limpens. Mais l'approche n'en soulève pas moins des questions en sciences de l'informatique autour de l'interaction homme-machine. Comme celle de savoir si l'on doit ou non attribuer une signification au fait d'effectuer un tracé dans un sens ou dans un autre ; Mathias Blanc voudrait même à l'avenir intégrer au logiciel la dynamique du geste, qui peut aussi être pertinente.

Ces tracés ouvrent donc de nouveaux champs de recherche – en sociologie, sur la réception sociale des images, et en informatique –, mais éveillent aussi des questionnements pédagogiques. Certes, « Ikonikat n'était pas prévu ...

▲ ... L'utilisation d'Ikonikat par les élèves a révélé des lectures très différentes du tableau de Wicar

© C. PICARD-LIMPENS/IKONIKAT



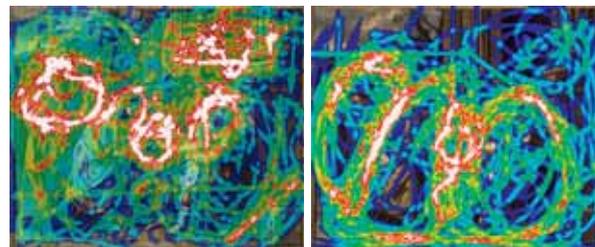
► Le sociologue Mathias Blanc et les élèves de CM2 devant *Bélaire demandant l'aumône*, de David (1781), au palais des Beaux-Arts de Lille.

directrice du musée, historienne de l'art et anthropologue de formation.

De multiples registres de lecture

Et c'est bien ce que les premiers pas d'Ikonikat ont montré. Notamment dans le cadre du projet éducatif « À corps et à cris » de sensibilisation et de prévention de la violence par les œuvres d'art. Des CM2 de Lomme, dans la banlieue lilloise, peu familiarisés avec le musée en dehors du cadre scolaire, sont allés admirer les œuvres exposées au Palais des Beaux-Arts de Lille pendant l'année scolaire 2015-2016. En juin 2016, ces dix-sept élèves de 10 ans sont revenus au musée pour y utiliser Ikonikat devant le tableau de Jean-Baptiste Wicar *Le jugement de Salomon* (1785). À titre de

▼ Dans l'interface utilisateur, le visiteur peut marquer du doigt les zones significatives du tableau de David.



▼ Selon qu'ils viennent d'élèves s'étant rendus au musée durant l'année scolaire (à gauche) ou non (à droite), les tracés ne pointent pas les mêmes zones du tableau.

comparaison, une autre classe de dernière année du cycle primaire, d'une autre école du quartier, a répété l'exercice.

Résultat : une très nette différence est apparue entre les tracés des enfants qui avaient découvert cette œuvre au cours du programme éducatif et les tracés de ceux qui la voyaient pour la première fois. Les élèves au regard aiguisé ont signalé sur leur reproduction numérique les éléments qui représentaient l'allégorie de la Justice, comme la main sur le cœur du roi Salomon et son bras tendu. Ils avaient une lecture symbolique du tableau. Les vingt-et-un élèves qui ne disposaient pas des éléments de contexte ont quant à eux adopté une lecture indicielle : ils se sont focalisés sur l'épée du soldat et les deux bébés. Pour eux, cette scène n'était que violence, pas du tout une représentation de la justice humaine.

Cette exploration différenciée de l'œuvre se retrouve aussi chez les adultes. Mathias Blanc a ainsi donné à voir ce

... pour cette application pratique », insiste Mathias Blanc. Reste que le sociologue se réjouit de la réflexion que son expérimentation a permis de déclencher entre enseignants sur la façon de présenter le tableau aux élèves, en partant de ce que les enfants ont vu et tracé sur le logiciel. C'est bien la preuve qu'« utiliser une appli de dessin ne signifie pas que le verbe ne nous intéresse pas ; l'opposition binaire entre iconocentristes et textocentristes est surfaite, d'autant que l'outil permet aussi de repasser à l'énonciation » et de questionner les différentes façons d'explorer l'œuvre, voire d'aiguiser son œil. Des professeurs de biologie à l'université envisagent ainsi d'utiliser l'application Ikonikat pour former les étudiants à observer des images au microscope à fluorescence – ce qui permettra aussi au sociologue d'analyser l'évolution et la construction de leur regard expert. « L'outil n'était pas du tout pensé pour former les regards mais il fait écho aux pratiques des enseignants », constate le chercheur.

Au sein même du musée, on peut également trouver un intérêt pratique à cette application et aux découvertes réalisées par son biais. « Ikonikat permet de voir comment adapter le discours muséal aux différents publics. Les recherches questionnent la manière de présenter les œuvres », explique Mathias Blanc. C'est aussi pour cela que le musée du Louvre-Lens a décidé d'accueillir l'expérience dans ses locaux. « J'ai la conviction absolue que le sens et l'interprétation d'une œuvre d'art ne sont pas définis une fois pour toutes par l'artiste ni son époque, mais qu'ils sont enrichis par chaque regard, chaque visiteur », déclare la

En bref

L'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE DU CNRS

Le 18 janvier 2017, Alain Fuchs, président du CNRS, a présenté à la presse le rapport d'évaluation scientifique de l'organisme, en présence de Thierry Mandon, secrétaire d'État à l'Enseignement supérieur et à la Recherche, Michel Cosnard, président du Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES) et de Rémi Quirion, scientifique en chef du gouvernement du Québec et président du comité de visite international qui a conduit cette évaluation. Ce rapport est consultable en ligne, tout comme les trois documents de travail que la direction du CNRS avait préparés pour le comité de visite : une présentation de l'organisme, l'auto-évaluation du CNRS et des éléments de prospective. Le rapport d'évaluation du CNRS formule plusieurs recommandations qui serviront de base à un plan d'action du CNRS pour les années à venir.

» www.cnrs.fr/fr/organisme/espacedoc.htm

PARUTION DU BILAN SOCIAL ET PARITÉ 2015

Le Bilan social et parité du CNRS est téléchargeable sous forme de PDF interactif intégrant tous les tableaux et enrichi de données pluriannuelles de 5 à 15 ans. Des analyses sexuées plus détaillées sont par ailleurs présentées en tête de chapitre. L'ouvrage est également téléchargeable sur tablettes et smartphones, avec une lecture et une navigation adaptées.



» <http://bilansocial.dsi.cnrs.fr/pdf/BSP-2015.pdf>

ESOF 2018, C'EST PARTI !

La prochaine édition de l'EuroScience Open Forum (ESOF) se tiendra à Toulouse en juillet 2018. Et c'est un événement : ce sera en effet la première fois que la France accueille la plus grande rencontre interdisciplinaire sur la science et l'innovation en Europe. Ainsi, lors de la dernière édition en juillet 2016 à Manchester, pas moins de 3000 inscrits venant de 83 pays ont assisté à 150 sessions réunissant 700 intervenants issus de toutes les disciplines scientifiques ! Au programme de cette biennale portée par l'Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées (avec de nombreux partenaires dont le CNRS) et dont la « championne » est Anne Cambon-Thomsen, directrice de recherche émérite au CNRS : un forum scientifique, des sections consacrées à l'innovation et aux politiques scientifiques, aux carrières, etc., mais aussi de nombreuses manifestations destinées au grand public. L'appel à sessions scientifiques pour l'ESOF 2018 a été lancé sur le site de l'événement.

Toutes les infos sur l'appel à sessions :
» <http://www.esof.eu/en/about/programme/call-for-proposals.html>

même *Jugement de Salomon* à une quarantaine d'individus qui déclaraient ne jamais aller au musée, à la nuance près qu'ils n'étaient pas face au tableau et ne l'observaient que sur leur écran. Leur registre de lecture était identique à celui des élèves du groupe témoin, qui découvrait la peinture de Wicar. « *Le discours muséal qui ne tient pas compte de cette lecture-là renforce le sentiment de violence symbolique chez ceux qui se sentent déjà exclus des musées, qui se disent "on n'y comprend rien", "on voit bien que ce n'est pas pour nous" »*, développe Mathias Blanc. Il ne tient qu'aux médiateurs d'adapter leurs discours en y intégrant les différents types de lecture révélés par Ikonikat.

Des surprises

C'est ainsi qu'« un public non averti peut orienter les connaisseurs, complète Marie Lavandier. Il ne faut jamais oublier que les visiteurs ont aussi quelque chose à nous transmettre ». Et cela s'est vérifié au palais des Beaux-Arts, toujours dans le cadre du projet « À corps et à cris », en montrant aux élèves de primaire la peinture *Bélisaire demandant l'aumône* (1781), de Jacques-Louis David. Les élèves ont au cours de l'année scolaire tellement intégré la lecture allégorique, souligne Mathias Blanc, qu'ils ont exploré le tableau à la recherche de symboles. Et ont remarqué un détail, une aire sombre, à laquelle ils n'ont pas su conférer de sens mais qui les a intrigués, et qu'ils ont donc entourée. Or, si l'on agrandit puis éclaircit cette zone d'ombre, on s'aperçoit qu'elle cache un motif floral, peut-être des fleurs de lys, ce qui était passé inaperçu des conservateurs et médiateurs. Cette potentielle présence d'un symbole de la royauté a fait renaître un débat sur l'engagement politique du peintre. « *Même si ce n'est pas confirmé, cela aura permis de redécouvrir une œuvre* », savoure le concepteur d'Ikonikat.

« *La recherche implique un esprit d'ouverture à la surprise* », souligne la directrice du musée du Louvre-Lens. Et les surprises pourront également venir du colloque-atelier qui se tiendra du 28 au 31 mars, en parallèle de l'exposition et de l'expérimentation, sur sept toiles des frères Le Nain, dont *Repas de paysans*. L'occasion, aussi, de se demander si un chef-d'œuvre est regardé et perçu de la même manière qu'une toile que les historiens de l'art estiment moins aboutie. Au programme : combiner, à partir d'un même corpus pictural, les différentes approches des études visuelles, celles qui se fixent sur la perception des images (ce que l'on voit), à l'instar de l'eye-tracking ou de ce que l'on déduit des déplacements et du temps de contemplation des visiteurs dans un musée, et celles qui, comme Ikonikat, se focalisent sur la réception (les significations qui leur sont attribuées). Le tout en vue d'obtenir un regard neuf sur les interactions entre ces œuvres majestueuses des siècles passés et les publics variés qui viendront les découvrir. ■

« La priorité du CNRS est d'affirmer son modèle de valorisation »



© DÉLÉGATION PMA

Entretien. Nicolas Castoldi, délégué général à la valorisation du CNRS, dresse un bilan du modèle construit par l'organisme pour valoriser les résultats de recherche des laboratoires.

PROPOS RECUEILLIS PAR VÉRONIQUE MEDER

En quoi le modèle du CNRS en matière de valorisation se distingue-t-il dans le paysage de la recherche publique française ?

Nicolas Castoldi : La force et l'originalité du « modèle CNRS » en matière de valorisation résident dans sa volonté de co-construire un partenariat scientifique avec les entreprises. Il repose sur une dynamique de recherche très forte. Les travaux scientifiques réalisés ensemble par les chercheurs et les industriels poursuivent les mêmes finalités que les autres recherches en laboratoire : améliorer la compréhension du réel et repousser les frontières des

connaissances. Mais ces innovations sont d'emblée coproduites avec les entreprises et le transfert directement intégré au projet de recherche en lui-même.

Alors qu'on a longtemps opposé privé et public, on a aujourd'hui le sentiment que les relations entre les entreprises et la recherche publique ont atteint un certain degré de maturité.

Partagez-vous ce constat ?

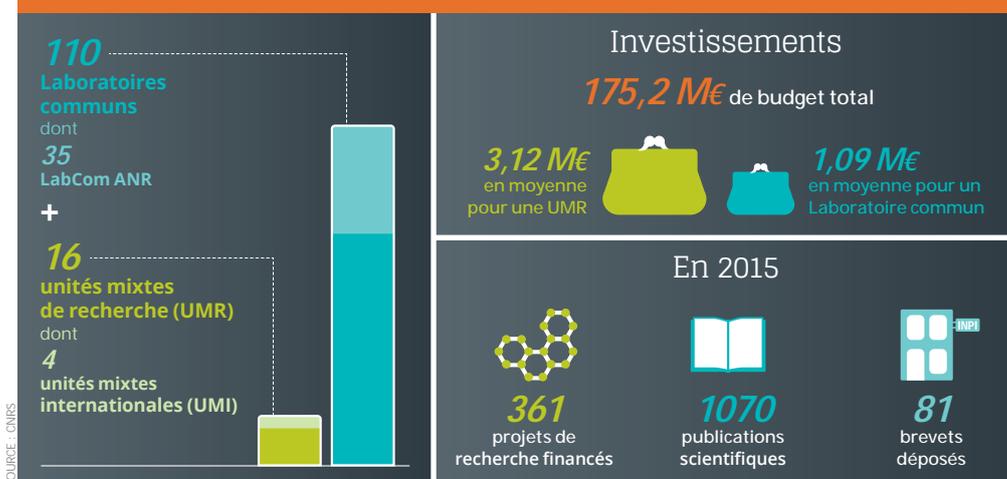
N. C. : Comme l'a déjà évoqué Thierry Mandon¹, nous vivons une révolution silencieuse. Les interactions entre recherche publique et entreprises

sont à des niveaux inégaux. Les lieux de partenariat scientifique entre recherche publique et entreprises n'ont plus rien d'exceptionnel et constituent, au contraire, une dimension à la fois banale et primordiale de la vie des laboratoires. Pour preuve, le nombre de laboratoires communs avec les entreprises est en plein essor. Celles-ci réalisent qu'aujourd'hui les changements scientifiques et technologiques interviennent plus rapidement et peuvent, en l'espace de quelques années, transformer un marché ou renverser un modèle économique. Être en lien avec une recherche de pointe, se connecter à la source même de l'innovation, devient ainsi pour elles une nécessité absolue, pour intégrer au plus tôt ces changements et ne pas être dépassées.

Quelle est la stratégie de valorisation du CNRS pour les prochaines années ?

N. C. : Cette stratégie repose sur deux piliers. Le premier est de déployer plus avant notre gamme d'outils de collaboration permettant aux laboratoires et aux entreprises de construire des partenariats, en leur fournissant un cadre bien conçu et efficace. Tels les laboratoires communs ou les accords-cadres, dont la vertu consiste à lever tous les obstacles techniques (gestion de la propriété industrielle, de la confidentialité, etc.) pour faciliter et accélérer la mise en place de partenariats avec les industriels. Le deuxième axe est de construire, sur une vingtaine de thématiques prometteuses – les Focus Transfert – des actions de valorisation structurées pour articuler les différents acteurs de la chaîne de valorisation et y constituer des grappes nationales de brevets.

126 structures communes de recherche



SOURCE : CNRS

¹ Secrétaire d'État chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



Lire l'intégralité de l'article sur www.cnrs.fr/cnrsinnovation-la-lettre/actus.php?numero=425

Le paysage français actuel de la valorisation de la recherche publique permet-il au CNRS de pleinement développer sa stratégie ?

N. C. : Notre priorité est d'affirmer notre modèle de valorisation et « d'embarquer » avec nous les entreprises dans une recherche conduite au plus haut niveau. La multiplication des acteurs – je pense aux quatorze Société d'accélération de transfert de technologie (SATT) créées – n'est pas la menace que certains pouvaient craindre, mais l'occasion d'aller plus loin dans ce modèle. Cela pour deux raisons. Tout d'abord, ce sont des moyens considérables alloués à des filiales partagées avec nos partenaires universitaires, pour la protection de la propriété intellectuelle, la maturation des technologies et le transfert. Ils sont une chance de faire plus et mieux, et ce, ensemble. Ensuite, cela veut dire que nous pouvons concentrer notre énergie et notre temps sur notre mission de partenariat d'innovation scientifique et approfondir avec les entreprises notre démarche de recherche commune.

Justement, le CNRS, comme d'autres institutions de recherche, dispose de filiales de valorisation : les SATT, ses filiales territoriales, et FIST SA, sa filiale nationale historique. Quel est le rôle de chacune d'entre elles ?

N. C. : Le CNRS est aujourd'hui le seul organisme de recherche à être actionnaire de l'ensemble des SATT créées. Ce choix en fait un acteur central de la valorisation à l'échelle nationale. Avec elles, le CNRS et les universités, également cotutelles des laboratoires de recherche, se trouvent pour la première fois réunis au sein de structures

qui assurent la valorisation des résultats de leurs recherches. À terme, cela simplifiera les choses pour les laboratoires et les entreprises demandeuses d'une licence.

De son côté, FIST SA, créée il y a vingt-quatre ans, est le bras armé de la valorisation au CNRS, avec une expérience avérée pour les opérations à très haut niveau d'expertise. Elle se charge des brevets à l'international, sait négocier des contrats de licences sur des technologies de premier plan, ou prépare les prises de participations du CNRS dans ses start-up les plus prometteuses, comme Innoveox ou Supersonic Imagine.

Le CNRS détient un portefeuille de brevets très conséquent. En quoi est-ce un atout ?

N. C. : Aujourd'hui, le portefeuille global de brevets du CNRS représente, pour lui et ses partenaires universitaires, un patrimoine fondamental. Il comporte notamment des brevets déposés sur des technologies plus amont que ceux pris en charge par les SATT, et qui commandent parfois l'ensemble d'un champ technologique.

Alors qu'on insiste parfois sur la nécessité de transférer rapidement et efficacement la propriété industrielle, le temps qui s'écoule entre le moment où un champ scientifique s'ouvre et celui où le marché économique se structure peut être long. La valeur économique d'un brevet s'évalue bien souvent entre cinq et dix ans. C'est la raison pour laquelle le CNRS a décidé de conserver un certain nombre de brevets historiques et fait le pari de la

longue durée sur ces technologies de rupture scientifique.

Au final, avec l'émergence de nouveaux acteurs (pôles de compétitivité, Instituts Carnot, SATT, IRT...), le paysage français de la valorisation donne aujourd'hui le sentiment d'une certaine complexité. Comment le CNRS y trouve-t-il son articulation ?

N. C. : Cette montée en puissance de la valorisation se traduit effectivement par une floraison incessante de structures. Il n'est pas certain que le système français y gagne en lisibilité. Mais l'investissement public est là, il reste à en tirer les fruits. Cela suppose de construire une interface directe entre les laboratoires et les entreprises, et non de créer, de légitimer ou de financer des intermédiaires.

Les laboratoires doivent être au cœur des politiques de valorisation et certaines choses ne peuvent se faire qu'au sein des organismes et des universités. C'est tout le sens du programme de prématuration du CNRS, qui permet aux laboratoires de présenter des projets scientifiques pouvant basculer vers la valorisation et ayant, pour cela, besoin d'un coup de pouce. L'échange est d'abord scientifique, avant de porter sur les perspectives de valorisation. Une fois le projet suffisamment mûr, le CNRS l'accompagne vers les SATT. L'organisme s'efforce ainsi de faire fonctionner de façon cohérente l'ensemble des structures de valorisation dont il est membre. CNRS, laboratoires et universités ont tout à y gagner. ||

Le CNRS à la pointe de l'innovation



SOURCE : CNRS

On a pris la mer avec les vigies de la Méditerranée

VIVANT

TERRE

Reportage. Le navire océanographique *Téthys II* accompagne les missions scientifiques en Méditerranée. Notre reporter a eu le privilège d'y passer trois jours, au côté des scientifiques du Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer¹.

PAR LAURE CAILLOCE



Le *Téthys II* vient tout juste de sortir de la baie de Nice. Malgré l'alerte orange lancée la veille par Météo France sur le Sud-Est, le temps est au bleu et au doux en ce mercredi de septembre, et nous ne sommes pas les seuls à en profiter. À une cinquantaine de mètres du bateau, un cachalot vient lui aussi se dorner la pilule à la surface : on aperçoit son puissant jet caractéristique, et la bosse de son dos qui émerge et replonge avec régularité... Ce n'est pourtant pas l'étude de la faune marine qui nous a amenés jusque-là. À pied d'œuvre dès le lever du soleil, plusieurs scientifiques du projet Moose pour le suivi des masses d'eau en Méditerranée nord-occidentale ont embarqué, et avec eux, l'équivalent d'une camionnette pleine de matériel.

Avec le progrès technologique et la miniaturisation des appareils, les mouillages instrumentés se multiplient en mer. À soixante kilomètres au large de Nice, deux bouées, Dyfamed et Boussole, enregistrent ainsi en continu des données liées à la physique de l'océan. Certains paramètres biologiques et biochimiques, cruciaux pour évaluer la santé des océans, échappent néanmoins à ces mesures en autonomie. Seule façon de les obtenir : prélever des échantillons d'eau de mer, qui seront ensuite analysés en laboratoire. « On prévoit trois jours par mois, été comme hiver, pour les manip en mer, la récupération des données et la maintenance sur les bouées », raconte Émilie Diamond-Riquier, ingénieure d'études au Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer, cité voisine de Nice.

Des opérations de maintenance acrobatiques

Sur le papier, c'est la mission Dyfamed qui est au programme de cette première journée en mer. Mais la forte houle annoncée pour le lendemain a poussé l'équipe de Boussole à jouer la prudence et à se joindre à l'expédition

– les deux bouées sont distantes de trois milles marins à peine. « Le feu qui signale la présence de la bouée ne marche plus et il faut remplacer les batteries de la balise d'urgence Argos qui sert à repérer la bouée en cas de rupture du mouillage, indique Melek Golbol, chargée des opérations Boussole. Surtout, il est indispensable de plonger pour nettoyer les capteurs optiques installés sur la bouée avant qu'ils ne soient colonisés par la vie marine. »

Un drôle de mât rouge se dresse soudain à l'horizon. « C'est la partie émergée de Boussole, annonce fièrement Melek Golbol. Le reste du mouillage – son flotteur, ses quatre bras qui portent les capteurs optiques – se trouve sous la surface. » Sur le pont arrière du *Téthys*, c'est le branle-bas de combat. Les marins préparent la mise à l'eau du canot pneumatique, les scientifiques finissent de fixer les vis sur le nouveau feu, tandis que les plongeurs enfilent leur combinaison et recensent leur matériel... Dix minutes plus tard, le canot pneumatique est arrimé à la bouée et la jeune femme s'installe au sommet du mât dans un équilibre instable. Elle y restera près d'une heure ! En plus des

► Perchée sur son mât, Melek Golbol récupère les données de la bouée Boussole.

► Les plongeurs nettoient les capteurs de Boussole afin d'empêcher la vie marine de les coloniser.



1. Unité CNRS/Univ. Pierre-et-Marie-Curie.



► Le radiomètre de surface, fixé à la proue du *Téthys*, permet de mesurer la quantité de lumière apportée par le soleil.

▲ Les 12 bouteilles de la rosette sont remplies à toutes les profondeurs, depuis la surface jusqu'au fond de la mer.

réparations prévues, elle doit télécharger l'ensemble des données acquises par la bouée en un mois – à raison d'un enregistrement toutes les quinze minutes.

Revenus à bord, les trois plongeurs s'émerveillent, jamais blasés de leurs incursions dans le milieu marin : « Deux thons faisaient des ronds autour de nous ! » C'est que les bouées instrumentées créent tout un écosystème autour d'elles : les algues qui se fixent sur les flotteurs, les chaînes, les instruments, attirent de petits poissons, lesquels en attirent de plus gros, et ainsi de suite.



© PHOTOS : L. GAULLOE

ROSETTE CTD

Outre des bouteilles pour recueillir l'eau de mer, une rosette CTD (Conductivity-Temperature-Depth) intègre des capteurs de salinité, profondeur et température.

Défilé de flacons et de tubes à essai

Retour sur le pont arrière du *Téthys*, le point névralgique de ce bateau de 25 mètres conçu comme un gros chalutier, avec ses deux gros treuils et son portique reconnaissable. Reliée au navire par un câble électroporteur, la rosette CTD est amenée doucement au-dessus de l'eau puis descendue lentement jusqu'au fond de la mer – à près de 2 400 mètres de profondeur. Dans la cabine de pilotage, les scientifiques ne quittent pas des yeux les données qui s'affichent en direct sur leur ordinateur. « Grâce aux capteurs CTD fixés sur la rosette, mais aussi grâce au fluorimètre qui détecte la chlorophylle présente dans le phytoplancton, on peut déterminer les profondeurs auxquelles claquer (fermer, NDLR) les bouteilles, explique Émilie Diamond-Riquier. Celles qui correspondent aux pics de chlorophylle et de salinité nous intéressent tout particulièrement... »

Les prélèvements sont terminés. La rosette est remontée sur le pont et un vrai marathon s'engage. Il faut remplir

des dizaines de fioles et de tubes à essai pour les futures analyses. « On fait l'oxygène et le CO₂ en priorité, avant que les bouteilles ne soient contaminées par l'atmosphère extérieure », glisse en hâte Émilie Diamond-Riquier. Dans les flacons, des « poisons » sont versés pour tuer la vie microbienne et bloquer toute production d'oxygène et de carbone, des réactifs sont ajoutés pour précipiter les gaz sous forme de dépôt solide. Le reste des analyses sera effectué dès le lendemain, au laboratoire de Villefranche. « Commencée en 1988, la mission Dyfamed représente la plus longue série de données océanographiques hauteurs jamais réalisées en Méditerranée, et l'une des cinq séries les plus longues au monde », précise l'ingénieure. Lever à l'aube le lendemain, jeudi. Malgré un ciel clair, les scientifiques de Boussole décident de ne pas prendre la mer. Les prévisions météo annoncent une houle de 1,80 mètre au large – un vrai risque pour la mise à l'eau des instruments.

...



© L. CHAILLOE

... Caractériser la couleur des océans

Le vendredi, à 7 heures du matin, l'équipe est déjà sur le quai. Au programme de cette dernière sortie, des prélèvements d'eau de mer – encore ! – et la réalisation d'une série de profils optiques. « *Ces profils, c'est LA manipulation phare du programme Boussole, car ils aident à calibrer les satellites qui observent la couleur des océans* », nous explique Melek Golbol, tout en fixant ses radiomètres de surface à l'avant du bateau. Avec les radiomètres sous-marins, et les instruments optiques fixés sous la rosette CTD, ils permettront de mesurer les propriétés optiques de l'eau de mer, qui lui donnent sa couleur unique : propriétés optiques apparentes, liées à l'éclairement du soleil, et propriétés optiques inhérentes, directement conditionnées par la nature du milieu (micro-organismes, particules en suspension, etc.).

Depuis la fin des années 1970, caractériser la couleur des océans depuis l'espace renseigne sur la quantité de phytoplancton et sur sa répartition dans toutes les mers de la planète. Une information précieuse pour la recherche : ces algues microscopiques sont en effet à la base de toute la chaîne alimentaire dans l'océan et produisent accessoirement 50 % de l'oxygène que nous respirons ! Mais l'observation par satellite présente un gros inconvénient : en effet, seulement 10 % du signal capté provient réellement des océans, les 90 % restants étant renvoyés par l'atmosphère. C'est la raison pour laquelle il est essentiel d'y adjoindre des mesures optiques en mer, afin d'affiner les données fournies par les satellites. Avec la bouée américaine Moby, située à Hawaii, Boussole est la seule bouée à pouvoir effectuer ces calibrations dans le monde.

Pendant que nous parlons, le *Téthys* est enfin arrivé sur site. Il faut faire vite, car de gros nuages noirs s'amoncellent à l'horizon. « *Pour avoir des données optiques optimales, il ne faut pas trop de vent, pas de nuages, pas de moutons sur la mer... Bref, rien qui puisse faire varier la luminosité !* » explique Melek Golbol, tout en dirigeant les opérations. Fixés l'un contre l'autre, les deux radiomètres

sous-marins (qui mesurent l'un la lumière descendante, l'autre la lumière ascendante) sont mis à l'eau, tandis que les marins laissent lentement filer le câble...

Il est temps de passer aux dernières manipulations du jour : les prélèvements d'eau de mer et leur filtration grâce à des tamis extrêmement fins – 0,7 micron à peine. De retour à Villefranche, les scientifiques pourront mesurer les quantités de chlorophylle et des autres pigments phytoplanctoniques dans les échantillons et en déduire les principaux groupes de phytoplancton présents à chaque profondeur. Chaque espèce possède en effet une signature pigmentaire unique. Grâce à l'ensemble des données recueillies en mer et depuis l'espace, il est ainsi possible de savoir quels grands groupes de plancton sont présents à chaque endroit de la planète, et en quelle quantité. Une forte concentration en coccolithophores, ces algues unicellulaires entourées d'une « coquille » de calcaire, donnera par exemple à l'eau cette couleur bleu lagon si typique, visible sur certaines photos satellitaires...

Une chose est sûre, le bleu lagon n'est pas à l'ordre du jour lorsque nous rentrons dans la baie de Nice. Le temps s'est couvert. Le *Téthys* s'amarre sagement derrière un immense yacht noir. « *On a de la chance d'avoir encore de la place ce soir* », se félicite le capitaine. Contrairement aux dizaines de luxueuses embarcations qui s'alignent dans le port, le *Téthys* ne paie pas sa place – le privilège de la recherche ! – et se trouve parfois contraint de mouiller dans la rade de Villefranche-sur-Mer si tous les anneaux sont pris. Il est 19 heures. Alors que les marins passent à table dans le carré, les scientifiques enlèvent les dernières caisses de matériel du bord et quittent le *Téthys*... jusqu'au mois prochain. ||

“Pour des données optiques optimales, il ne faut pas trop de vent, pas de nuages, pas de moutons sur la mer...”

► Ces radiomètres sous-marins mesurent les propriétés optiques de l'eau de mer, qui lui donnent sa couleur unique.



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

Cap sur la facturation électronique

Gestion. Janvier 2017 a sonné le début de la fin pour les factures papier dans l'administration française. Le CNRS participe à ce grand chantier national.

PAR CLAIRE DEBÔVES

Envoyer sa facture et être payé rapidement dans les jours qui suivent ? C'est techniquement possible depuis janvier 2017 avec l'arrivée de la facturation électronique. En effet, les entreprises doivent désormais transmettre des factures dématérialisées à leurs clients publics. L'obligation sera progressivement mise en œuvre jusqu'en 2020, en fonction de la taille des entreprises – les plus grandes étant les premières concernées. À terme, environ 1,1 million de fournisseurs devront s'y conformer. Cette dématérialisation s'applique également, depuis janvier, aux entités publiques pour l'émission de leurs factures à destination du secteur public. Sachant que l'État s'y conforme lui-même depuis 2012, pour ses fournisseurs.

Une plateforme unique

Chorus Pro est l'outil permettant cette dématérialisation monstre des quelque 100 millions de factures traitées chaque année par la sphère publique. « Cette plateforme mutualisée sera l'unique espace virtuel de dépôt, de réception et de transmission des factures », explique Marie-Laure Inisan-Ehret, directrice des comptes et de l'information financière (DCIF) au CNRS. Les entreprises et les administrations pourront les déposer en format électronique, en PDF ou encore les saisir directement en ligne. Dans la plateforme, les factures seront authentifiées automatiquement et récupérées par les établissements pour traitement. « Cela va beaucoup simplifier la vie des entreprises », précise son adjointe, Sandrine Loridan-Torchy. Par ailleurs, la facturation électronique diminuera l'empreinte carbone tout en améliorant la productivité et la sécurité financière.

À la demande de l'Agence informatique et financière de l'État (AIFE) – aux manettes du projet à l'échelle nationale –, le CNRS a été sollicité ainsi que 17 autres entités publiques afin d'expérimenter Chorus Pro et de contribuer à son amélioration durant la phase de test. « L'expertise du CNRS en la matière est reconnue et nous sommes un des plus gros opérateurs de l'État avec 1 million de factures annuelles », signale Marie-Laure Inisan-Ehret. Ainsi, au mois d'août 2016, l'organisme a été le premier à réceptionner les factures dématérialisées déposées dans Chorus Pro par des

fournisseurs volontaires. « L'Union des groupements d'achats publics/UGAP et l'université de Lorraine nous ont fait parvenir quelques factures qui ont été payées dans un délai record », ajoute-t-elle.

Des tests concluants

Pionnier de la dématérialisation des factures, le CNRS n'a donc pas rencontré de difficulté à raccorder son système d'information financier à Chorus Pro. Grâce au Service central du traitement de la dépense (SCTD), ouvert à Nancy en 2013 et rattaché à la DCIF, 14 délégations régionales du CNRS sur 18 fonctionnent déjà en mode dématérialisé. Cela signifie que les fournisseurs transmettent directement les factures au SCTD qui les numérise et procède à certains contrôles préalables au paiement. La responsable du SCTD, Nicole Benoit, souligne que « cette dématérialisation partielle a permis de gagner en moyenne dix jours dans les délais de paiement des fournisseurs ». Avec Chorus Pro, les factures nativement électroniques seront traitées par le SCTD, les délégations pouvant suivre toutes les étapes sur l'interface. « Nous devrions avoir moins de rejets de factures pour non-conformité », ajoute-t-elle.

Le volet « recettes » des flux financiers, non dématérialisé au CNRS, suppose davantage d'ajustements en interne. Car pour encaisser des ressources (contrats ANR, subventions des collectivités territoriales ou cofinancements avec des partenaires), le CNRS devra émettre des « factures de recettes » dématérialisées. « Un premier test s'est avéré concluant en septembre : l'université de Lorraine nous a versé en moins d'une semaine une subvention dont la facture avait été déposée dans Chorus Pro, informe Sophie Chevalier, agent comptable secondaire à la délégation Centre-Est. L'outil est très utile pour suivre la facture, savoir si l'on a été payé... et nous devrions, au passage, améliorer notablement le recouvrement. »

Encore plus de pilotage

La mise en place de Chorus Pro est orchestrée par la direction des comptes et de l'information financière du CNRS (DCIF), qui effectue l'interface avec la direction des systèmes d'information (DSI), les autres établissements pilotes ainsi que l'AIFE et la direction générale des finances publiques (DGFIP). « L'impact sera quasiment neutre pour les laboratoires et les délégations régionales, signale Thierry Robin, chef de projet maîtrise d'ouvrage de Chorus Pro à la DCIF. Le principal changement est que les services financiers et comptables ne traiteront plus les factures: nos activités évolueront donc davantage vers du pilotage. »



Comment partager la culture scientifique ?

International. Début mai, scientifiques et professionnels de la médiation ont rendez-vous au Canada pour les Journées internationales de la culture scientifique.

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD



Comment s'assurer que la science, toutes les sciences, soient mieux démocratisées ? » Énoncée ainsi par Frédéric Bouchard, président de l'Association francophone pour le savoir (Acfas) et philosophe des sciences, la question sera au cœur des Journées internationales de la culture scientifique (JICS), qui se tiendront les 4, 5 et 6 mai prochains à Montréal. Professionnels de la médiation, chercheurs, décideurs, ONG, entreprises ou acteurs de la société civile : plus de 600 intervenants sont attendus lors de cet événement organisé par l'Acfas et porté par l'université de Lorraine, et auquel le CNRS est associé.

Pendant trois jours, conférences, ateliers de formation et tables rondes permettront de débattre et échanger autour, notamment, de deux tendances fortes : l'importance croissante du numérique et l'internationalisation de la production et du partage de la recherche. Cette année, l'accent est mis sur les pratiques. Le but est de partager des techniques, d'échanger sur de nouvelles initiatives, leur succès, ou même sur ce qui a moins bien fonctionné.

« La médiation scientifique est une démarche qui doit être internationale. Les enjeux sont planétaires. Le meilleur remède dans le contexte actuel, c'est de partager la culture scientifique », poursuit Frédéric Bouchard. « Ma thèse



en 180 secondes » en est une bonne illustration. L'objectif est de permettre à de jeunes chercheurs de présenter leur sujet de recherche au grand public. Parti de l'Acfas, ce concours s'est aujourd'hui étendu aux doctorants francophones du monde entier. Un projet arrivé à maturité pour Frédéric Bouchard : ces JICS pourraient en voir émerger de nouveaux.

Comparer les expériences

De nombreux thèmes seront abordés lors de « panels de discussion » : l'éducation aux médias et aux réseaux sociaux, les nouvelles écritures et les nouveaux outils numériques pour l'éveil à la science, les données ouvertes ou encore la science à l'ère de Donald Trump. Au programme, des dispositifs de médiation allant du détecteur de rumeurs de l'Agence Science Presse à la découverte, en immersion, d'éruptions solaires sur casque de réalité virtuelle – un outil développé à Orsay par Miho Janvier, astronome adjointe à l'Institut d'astrophysique spatiale.

De son côté, Pierre Normand, de la Fondation canadienne pour

▼ Lors de la Fête de la science 2016, on pouvait découvrir des éruptions solaires avec un casque de réalité virtuelle.

l'innovation, organise un débat autour des enjeux de la culture scientifique face aux populations éloignées. « Certaines populations autochtones, au nord du Canada mais aussi à travers le monde, n'ont pas accès au haut débit, l'outil de base pour la médiation scientifique », constate-t-il. Selon lui, comparer les expériences permettrait d'établir de meilleurs programmes de sensibilisation à la science, pour mieux cibler les communautés qui n'ont pas ou difficilement accès à ces projets de médiation, pour des raisons géographiques ou sociales. « Il faut se baser sur le besoin des populations pour établir les meilleures stratégies, à la fois dans le respect de leurs traditions et à partir de leurs propres connaissances. »

Pour Frédéric Bouchard, il est essentiel de promouvoir des approches à la fois adaptées et adaptables. « Il faut prendre conscience des enjeux communs et des réalités locales. Il y a une urgence sociale autour de la communication scientifique », estime-t-il. ||

» www.science-and-you.com/fr

NUMÉRIQUE

Les échanges de données au peigne fin

PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

Réseaux sociaux, documents numériques, Archives, emails personnels et professionnels, publications scientifiques... Face à l'augmentation constante et croissante des communications individuelles à travers les réseaux sociaux ou sous format électronique, comment analyser ces données ? Un nouveau modèle statistique, le Stochastic Topic Block Model (STBM), pourrait bien apporter une réponse. Accompagné de leurs équipes, Charles Bouveyron, professeur¹ à l'université Paris-Descartes et Pierre Latouche, maître de conférences à l'université Paris 1, sont en effet parvenus à modéliser des réseaux et leurs échanges à partir de cette nouvelle méthodologie statistique. Leurs résultats viennent d'être publiés dans la revue *Statistics & Computing*.

Qui envoie quoi à qui ?

« Pour mettre au point ce nouvel outil, nous avons combiné adroitement deux modèles statistiques reconnus, le *Stochastic Block Model (SBM)* et le *Latent Dirichlet Allocation (LDA)* », explique Charles Bouveyron. Alors que le premier permet essentiellement de modéliser la structure du réseau au travers d'un **clustering**, le second est dédié à l'analyse de textes, comme la recherche de thèmes dans un document ou un corpus. Ce nouveau modèle statistique permet une analyse conjointe des textes – c'est-à-dire du contenu des échanges – et des réseaux, autrement dit des interactions entre individus, groupes d'individus ou entités. L'objectif est non seulement de comprendre comment s'organise un réseau, mais aussi

d'interpréter les thèmes de discussion identifiés en observant les mots les plus fréquents de chaque thème.

« Parmi d'autres, les possibilités d'applications en sciences humaines sont conséquentes. La méthodologie est en effet tout à fait adaptée aux réseaux de taille modérée à grande (elle n'est pas conçue pour de la surveillance de masse) et permet une modélisation fine des échanges entre groupes », précise le statisticien. Des données comme les échanges de textes entre des individus d'un réseau social, ou les échanges d'emails entre les employés d'une entreprise, ou encore les copublications de brevets ou de contenus scientifiques sont le type de données que peut analyser le STBM.

Communautés scientifiques

Ainsi, l'équipe de Charles Bouveyron a analysé toutes les publications sur le diabète entre 2008 et 2016, disponibles sur PubMed – la base de données bibliographiques produite par la US National Library of Medicine : 963 articles au total. Grâce au STBM, elle est parvenue à identifier dix

CLUSTERING

technique visant à regrouper les individus en un nombre limité de groupes homogènes afin de faciliter l'interprétation des données.

thèmes principaux autour du diabète prénatal, des nouvelles thérapeutiques ou encore de son diagnostic. Cet outil lui a aussi permis, plus largement, d'identifier les leaders de cette thématique de recherche : « Nous

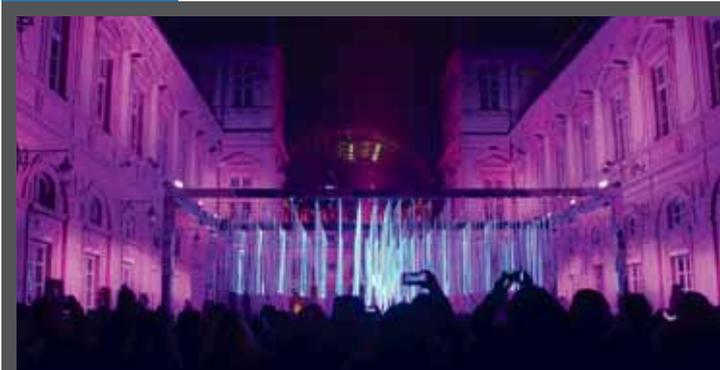
avons pu analyser comment une communauté de chercheurs s'organise autour d'une thématique précise, comme le diabète. On observe des groupes, bien définis et centraux vis-à-vis de la discipline, mais aussi des chercheurs plus isolés. Une étape supplémentaire sera, pour nous, de suivre l'évolution de ces thèmes de recherche. »

Ce modèle a aussi été appliqué au jeu de données des emails de l'entreprise Enron, une société de courtage en énergie impliquée dans l'un des plus grands scandales financiers des États-Unis. Les chercheurs ont analysé l'évolution des échanges électroniques entre les employés² pendant les mois qui ont précédé la faillite de l'entreprise, en décembre 2001. Le STBM a permis de mettre en évidence les principaux thèmes de discussions, de les relier aux différents groupes, mais a également pu observer une réaction anticipée des cadres par rapport aux autres employés : rapidement, ils se sont isolés, dans leurs échanges, des autres groupes³. « Ce type d'analyse de réseaux complexes pourrait, par exemple, s'étendre au récent scandale des *Panama papers* », imagine Charles Bouveyron.

Autre projet : la mise en place d'une plateforme ouverte où chacun pourra déposer des données brutes – documents d'archives, emails personnels, échanges épistolaires – pour y générer ses propres résultats. Pour l'équipe, il s'agit entre autres de « tester les possibilités de la méthode et de voir, notamment, ce que les gens voudraient en faire », indique Charles Bouveyron. II

1. Il est membre du laboratoire Mathématiques appliquées à Paris 5 (CNRS/Univ. Paris-Descartes). 2. Les données ont été rendues publiques après le scandale. 3. Il est possible d'explorer les données Enron avec l'application en ligne disponible sur up5.fr/enron.

En image



Platonium enflamme le public

L'œuvre a fait sensation lors de la Fête des lumières, en décembre 2016 : Platonium, dispositif artistique composé d'installations, de mises en lumière, de sons et de vidéos et pensé à partir de recherches scientifiques, a fasciné les visiteurs de la cour de l'hôtel de ville de Lyon. Grâce au vote du public, cette œuvre, produite par le CNRS avec le soutien de l'université de Lyon et de l'université Claude-Bernard Lyon 1, a même reçu le trophée Récyllum des lumières durables. Plusieurs villes ont rapidement manifesté leur souhait d'accueillir l'installation... à commencer par Bruxelles, où elle a été exposée début février à l'occasion du Bright Brussels Festival.



Dans les secrets de la combustion

MATIÈRE

Ingénierie. Grâce à des expériences en laboratoire et à des simulations sur ordinateur, les scientifiques tentent de percer les secrets de la combustion. Objectif : mettre au point des moteurs à la fois moins polluants et moins gourmands en énergie.

PAR JULIEN BOURDET

Elle fait rouler nos voitures, voler les avions, chauffe nos maisons, sert à produire de l'électricité et permet de fabriquer du ciment, du verre et des matériaux métalliques. Elle, c'est la combustion. Cette réaction chimique est aujourd'hui essentielle aux activités humaines puisqu'elle fournit 85 % de l'énergie primaire dans le monde. Mais la combustion soulève aussi de gros problèmes écologiques du fait de la pollution atmosphérique et des émissions de CO₂ qu'elle génère. Les chercheurs l'ont bien compris et ils travaillent d'arrache-pied pour dévoiler tous les secrets de cette réaction. Et conduire ainsi à la mise au point de nouveaux procédés, de nouveaux moteurs et autres centrales thermiques à la fois moins polluants et moins gourmands en énergie.

Ces préoccupations environnementales ne datent pas d'hier. « En trente ans, les recherches sur la combustion ont permis de diviser par mille les émissions de particules

polluantes (suies, oxydes d'azote, etc.) des moteurs et pour certains, de multiplier par deux leur rendement, donc de diviser par deux leurs émissions de CO₂ », rappelle Thierry Poinsot, de l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse¹. Mais « il reste encore beaucoup de place pour améliorer les choses », souligne Sébastien Candé, du Laboratoire d'énergie moléculaire et macroscopique, combustion² (EM2C), à Châtenay-Malabry. Preuve de cet optimisme : en Europe, les constructeurs de moteurs d'avion et d'hélicoptère se sont engagés d'ici à 2020 à baisser de 80 % les émissions d'oxydes d'azote de leurs engins par rapport à celles de 2000. Et les avionneurs comptent diviser par deux les émissions de CO₂ (par passager-kilomètre) de leurs aéronefs.

Trouver la bonne formule

Grâce à des expériences en laboratoire, des développements théoriques et des simulations sur ordinateur, les scientifiques tentent de comprendre les mécanismes contrôlant la combustion au sein des systèmes où on la déclenche : les chambres de combustion. Dans ces structures capables de résister à de fortes températures et à de hautes pressions, on fait brûler un combustible (essence, kérosène, méthane...) en le mettant en contact avec de l'air. L'énergie ainsi libérée est ensuite utilisée pour produire une force. « Cette transformation nécessite des systèmes relativement complexes, explique Sébastien Candé. Dans le cas des moteurs d'avion, par exemple, ils font intervenir soufflante, compresseur et turbine pour finalement éjecter les gaz au travers d'une tuyère et propulser l'avion dans la direction opposée. Dans les

moteurs automobiles, le dégagement de chaleur associé à la combustion réalise une forte surpression dans le cylindre qui se traduit par une force appliquée au piston. Le mouvement de ce dernier est transformé en rotation, ce qui permet de faire tourner les roues du véhicule. »

L'objectif des concepteurs de ces chambres est de mettre au point des systèmes qui vont brûler de la manière la plus complète et la plus propre possible le mélange air-combustible. « Les performances de la chambre dépendent de nombreux paramètres, notamment de sa forme, du débit d'injection de l'air et du combustible, de la proportion entre les deux réactifs, du nombre d'injecteurs », précise Thierry Poinsot.

Pour trouver la bonne formule, la simulation numérique est devenue un passage obligé. Afin de modéliser le fonctionnement d'une chambre à combustion, les chercheurs doivent résoudre un jeu d'équations bien connues : celles de la mécanique des fluides qui décrivent l'écoulement des

Le foyer MICCA, du laboratoire EM2C. La paroi externe en quartz permet d'observer la dynamique de la combustion.

1. Unité CNRS/INP Toulouse/Univ. Toulouse 3. 2. Unité CNRS/CentraleSupélec. 3. Ces codes sont issus d'une collaboration très large entre le Cerfacs, IFPEN et les laboratoires CNRS. 4. Unité propre du CNRS. 5. Paul Clavin, de l'Institut de recherche sur les phénomènes hors équilibre (IRPHE) et Sébastien Candé, du laboratoire EM2C, étaient les derniers Français à avoir remporté cette distinction, respectivement en 2014 et en 2010.



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

flammes, couplées à celles de la combustion des différentes espèces chimiques présentes. Mais l'exercice est difficile. « *La combustion est un phénomène complexe, car elle met en jeu d'un côté un écoulement turbulent dans lequel se créent en permanence et à toutes les échelles des tourbillons qui réalisent le mélange, et de l'autre une cinétique chimique qui fait intervenir des milliers de réactions et plusieurs centaines d'espèces* », note Sébastien Candiel.

À la faveur des progrès accomplis en matière de modélisation et de puissance de calcul, et du développement de codes adaptés à la simulation des grandes échelles³, cette tâche est désormais à la portée des superordinateurs. Les simulations, effectuées en quelques semaines grâce au calcul parallèle sur plusieurs milliers de processeurs, donnent accès à de nombreux paramètres physiques (température, pression, vitesse des flammes...) ainsi qu'aux quantités de polluants émis. On peut alors évaluer à l'avance l'efficacité de l'architecture d'une nouvelle chambre et faire une prévision de son niveau de pollution.

Anticiper les instabilités

Mais ce n'est pas tout. Les simulations doivent également anticiper tout dysfonctionnement d'une chambre de combustion, comme des problèmes d'extinction ou de stabilité de la flamme, ou pire encore ses instabilités acoustiques qui peuvent endommager la structure, voire la détruire. « *De la même manière qu'en soufflant dans une trompette, on fait vibrer le tube et on produit un son, la combustion peut, dans certains cas, faire vibrer la chambre mais de manière extrêmement intense et ainsi la mettre en danger* », explique Thierry Poinot. Ce problème se rencontre dans de nombreux systèmes, depuis les moteurs d'avion et de fusée, les turbines à gaz qui fabriquent de l'électricité, jusqu'aux chaudières à gaz des particuliers. Tout l'enjeu consiste donc à prévoir ces instabilités et à trouver un moyen de s'en débarrasser avant de fabriquer un nouveau moteur ou une nouvelle turbine. Une tâche à laquelle s'attellent Thierry Poinot et son équipe au sein du projet Intecocis, en collaboration notamment avec le laboratoire EM2C.

Autre défi : améliorer la prévision en matière de polluants émis par les systèmes de combustion. Car, si aujourd'hui on sait assez bien prédire le taux de production de certaines espèces – les oxydes d'azote par exemple –, pour d'autres, en revanche, comme la suie, c'est beaucoup plus difficile.

Pour répondre à toutes ces questions, les chercheurs ne s'appuient pas seulement sur les simulations numériques. Dans leurs laboratoires, ils étudient également la combustion dans des dispositifs reproduisant de manière plus simple les conditions qui existent dans les chambres de combustion industrielles. Dans ces enceintes aux parois en quartz, ils peuvent observer le déroulement d'une combustion sous toutes ses coutures. Avec des caméras rapides, ils capturent l'évolution de la flamme et des zones de réaction. Avec des

lasers, ils suivent le déplacement de particules, leur vitesse et leur taille. Avec des microphones, ils enregistrent les fluctuations de pression pour identifier les zones où se développent les fameuses instabilités. Dans d'autres expériences, ils récoltent des échantillons pour caractériser toutes les espèces chimiques créées au cours de la réaction.

Grâce à toutes ces expériences, les scientifiques tentent de modéliser finement les phénomènes en jeu au cours de la combustion. Et d'améliorer ainsi les prédictions fournies par les simulations numériques en matière d'allumage, d'émissions de polluants et d'instabilités.

Évaluer les biocarburants

L'enjeu est d'autant plus important que, pour faire face à l'épuisement des combustibles fossiles, du pétrole en particulier, on fait de plus en plus appel aux biocarburants, ces carburants issus de la biomasse. « *Il faut faire preuve de prudence avec ces nouveaux carburants et bien évaluer les polluants émis au cours de leur combustion* », note Philippe Dagaut, de l'Institut de combustion, aérothermique, réactivité et environnement⁴, à Orléans. Les travaux de son équipe ont déjà permis de montrer que le kérosène de synthèse destiné aux avions et fabriqué grâce à la gazéification du charbon ou de la biomasse émettait moins de suies en brûlant que le kérosène ordinaire. En revanche, certains biocarburants pour voitures produisent plus de suies et de composés aromatiques que les carburants classiques.

Les chercheurs ont donc encore du pain sur la planche pour faire avancer les connaissances en vue de concevoir les moteurs du futur, plus performants et moins polluants. Dans cette quête, les Français sont particulièrement actifs. La preuve : deux d'entre eux, Thierry Poinot et Philippe Dagaut, ont reçu en 2016 la médaille d'or du Combustion Institute, la plus haute récompense de la discipline⁵. La combustion n'a pas fini d'enflammer les chercheurs ! ▮

► Le dispositif Intrig permet d'analyser les flammes réelles dans les moteurs d'avion.



© C. FRESILLON/INTECOCIS PHOTOTHÈQUE

Le CNRS et Solvay, 40 ans d'innovation

Partenariat. Forts d'une collaboration de 40 ans, le CNRS et l'industriel de la chimie Solvay viennent de signer un nouvel accord-cadre de cinq ans. Quatre unités mixtes de recherche sont aujourd'hui actives à Bordeaux, Lyon, Shanghai et Bristol, aux États-Unis.

PAR LAURE CAILLOCE

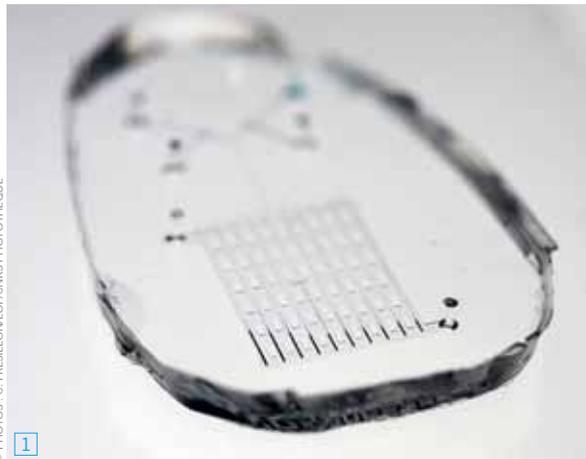
C'est le plus long partenariat jamais conclu par le CNRS avec un industriel. Le tout premier accord-cadre signé entre le CNRS et Solvay (Rhône-Poulenc, à l'époque) remonte en effet à... 1975, il y a plus de 40 ans donc ! « *Notre collaboration a survécu au passage des activités chimie de Rhône-Poulenc chez Rhodia, puis au rachat de Rhodia par le groupe belge Solvay, en 2011, rappelle Dominique Massiot, le directeur de l'Institut de chimie du CNRS. Cela montre à quel point on y a chacun un intérêt fort.* » Après plusieurs mois de négociations, un nouvel accord de cinq ans vient tout juste d'être signé entre les deux partenaires. « *Il couvre toutes les questions administratives et juridiques de la recherche, en facilitant la mise en place des nouveaux contrats – thèses, postdoc – et en réglant de manière globale les questions relatives aux brevets et à la propriété intellectuelle* », explique Patrick Maestro, le directeur scientifique de Solvay.

Un document plus que jamais indispensable au vu de l'étendue des recherches menées en commun. Car le partenariat englobe aussi bien les unités mixtes, créées et gérées conjointement, que les dizaines de contrats ponctuels signés chaque année avec des laboratoires innovants, pour

lesquels Solvay aide les chercheurs à trouver quelles applications leur découverte pourrait avoir, et se charge de leur éventuelle réalisation.

Les unités mixtes sont aujourd'hui au nombre de quatre, dont deux à l'international : le Laboratoire du futur de Bordeaux-Pessac, le laboratoire Polymères et matériaux avancés de Lyon, le Laboratoire Compass (Complex Assemblies of Soft Matter) à Bristol, aux États-Unis, et le laboratoire Eco-Efficient Products and Processes (E2P2L) à Shanghai, en Chine. « *En réalité, les premières*

[Les dispositifs microfluidiques utilisés par le Laboratoire du futur permettent de miniaturiser les réactions chimiques \(1 et 2\).](#)



© PHOTOS : C. FRESILLON/OFICNRS PHOTO THÉQUE

1



2

unités mixtes ont vu le jour dans les années 1980, comme l'unité mixte CNRS-CEA-Rhône-Poulenc, axée sur la physique-chimie des milieux complexes, mais elles ont toutes disparu aujourd'hui. Les sujets de recherche que nous traitons dans ces laboratoires ont en effet des durées de vie limitées dans le temps », indique Patrick Maestro.

Accélérer la recherche

Le Laboratoire du futur – ou LOF pour les intimes – est probablement la plus originale des quatre unités mixtes. Et pour cause : l'objectif ici n'est pas d'avancer dans un domaine en particulier de la chimie des matières molles,



multiplie à l'envi : des milliers de gouttes sont générées, qui deviennent chacune un réacteur chimique où les chercheurs peuvent faire varier la proportion des composés du mélange, mais aussi les conditions de température ou de pression... »

Créée en 2004, l'unité de Bordeaux figure parmi les laboratoires mondiaux les plus en pointe sur la microfluidique – l'un de ses anciens directeurs, Mathieu Joanicot, a d'ailleurs décroché la médaille d'argent du CNRS pour ses travaux. « Les recherches menées avec les industriels ne sont pas des recherches de seconde zone. Bien au contraire, les

problématiques apportées par les industriels peuvent déboucher sur des systèmes extrêmement complexes », insiste Dominique Massiot, qui n'a de cesse de rappeler le « contexte de recherche exceptionnel » apporté par ces unités mixtes : « Les thèses, les postdoc sont financés par Solvay, et le laboratoire dispose d'une visibilité de plusieurs années, ce qui permet véritablement de programmer la recherche. »

Une chimie plus « verte »

Le laboratoire E2P2L de Shanghai, créé en 2011, est lui aussi résolument tourné vers le futur, puisqu'il se consacre ...



© C. FRESILLON/UGSCNRS PHOTOHEQUE

le gros morceau de la collaboration entre les deux partenaires qui se passionnent pour les gels, crèmes et autres polymères (tous les polymères sont des matières molles à un stade ou un autre de leur fabrication), mais bien d'accélérer la recherche en tant que telle, grâce à des méthodes résolument nouvelles. La principale est l'utilisation de la microfluidique, inventée il y a quinze ans à peine. « En chimie, tester une nouvelle molécule, une nouvelle formulation, prend du temps, raconte Patrick Maestro. Imaginez qu'un simple shampoing contient pas moins de vingt espèces chimiques différentes ! Grâce à la microfluidique, on miniaturise les réactions et on les



Des catalyseurs utilisant moins de métaux précieux (3) sont synthétisés à Lille pour le laboratoire E2P2L de Shanghai (4).

© E2P2L-2016

Le partenariat CNRS-Solvay, c'est...

6 instituts du CNRS impliqués

(INC, Insis, INP, INSB, IN2P3, Inee)

2 unités mixtes de recherche

2 unités mixtes internationales

320 brevets actifs

280 publications en commun

Des dizaines de chercheurs formés au CNRS et recrutés par Solvay

... à 100 % à une chimie que le grand public appelle « verte », et que les chimistes préfèrent qualifier de « plus respectueuse de l'environnement ». « L'idée de ce laboratoire, auquel participent également l'ENS de Lyon, l'université de Lille et deux universités chinoises, est de se concentrer sur les procédés du futur, explique Dominique Massiot. Il s'agit de faire des réactions chimiques plus efficaces, moins gourmandes en énergie et en ressources, de réduire la quantité de métaux précieux utilisés dans les catalyseurs, et d'utiliser des matériaux biosourcés plutôt que du pétrole... »

Des matériaux plus légers

Le laboratoire Polymères et matériaux avancés, créé à Lyon en 2006, se consacre à l'amélioration des propriétés thermomécaniques des polymères, en associant plusieurs polymères entre eux, ou des polymères et d'autres composés. Développés avec un célèbre

fabricant de pneumatiques, des élastomères « chargés » de silice permettent ainsi de fabriquer des pneus qui durent plus longtemps. Mais le gros chantier du moment consiste à mettre au point des composites aussi résistants que légers – textiles de fibres de verre ou de carbone enduits de résine, notamment –, afin de réduire le poids de nos avions et voitures et de les rendre moins gourmands en carburant.

Sortir de la « vallée de la mort »

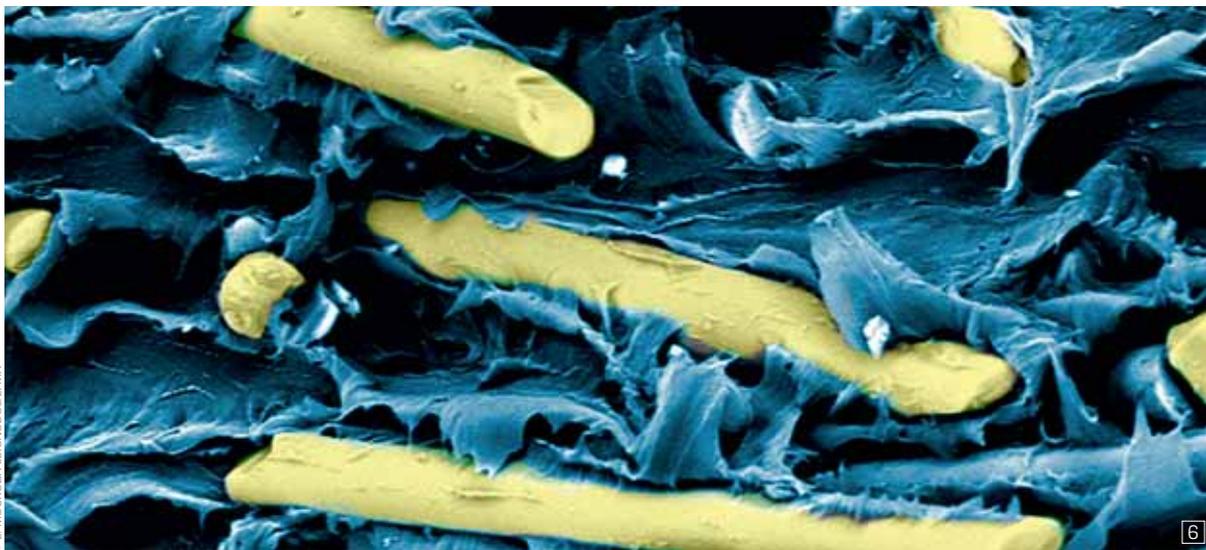
Enfin, le laboratoire Compass, développé à Bristol (États-Unis) avec l'université de Pennsylvanie, porte exclusivement sur la création, la manipulation et la compréhension de la matière molle. Il a entre autres mis au point une poudre de polymères d'origine naturelle (polysaccharides) qui facilite la culture, notamment dans les milieux arides : mêlée à la terre, elle permet de retenir l'eau au plus près des racines des plantes. L'équipe

5. Les chercheurs du Compass ont mis au point une poudre de polymère qui se mélange à la terre et facilite la culture en milieu aride.

travaille actuellement sur de nouveaux revêtements à base de polymères (seuls ou enrichis de particules minérales). L'objectif : empêcher la formation de films bactériens ou de moisissures, les fameux « biofilms », à la surface d'objets aussi divers que les dispositifs utilisés à l'hôpital ou les coques de bateaux. « On parle souvent de la « vallée de la mort » qui existe entre la recherche fondamentale d'un côté, qui fait émerger des matériaux dotés de nouvelles propriétés, et leur valorisation à proprement parler... Ces unités mixtes sont vraiment le trait d'union entre les deux », se réjouit Dominique Massiot. ||



© MASTERRILE



6. Ce polymère renforcé de fibres de verre, conçu par les chercheurs de Lyon, devrait permettre de réduire le poids de nos avions et voitures.

LES IDÉES



*S'intéresser aux risques du virtuel,
à l'élasticité du corps humain
et à un élément chimique aussi
rare que précieux.*

SOCIÉTÉS

NUMÉRIQUE

Avec l'essor des nouvelles technologies et de la réalité augmentée, les frontières entre mondes réel et virtuel deviennent plus floues. Fin 2016, à l'occasion de la sortie du film *Creative control*, nous avons interviewé les spécialistes Daniel Mestre¹ et Isabelle Viaud-Delmon².



PHOTOS: DR

PROPOS RECUEILLIS PAR CHARLINE ZEITOUN



Peut-on se noyer dans le virtuel ?

▶ Dans *Creative Control*, David actionne ses lunettes de réalité augmentée en bougeant ses doigts.

La réalité virtuelle (RV) permet de guérir des phobies comme le vertige³. Y a-t-il d'autres utilisations médicales ?

Daniel Mestre : Dès les années 2000, à Seattle, des expériences en RV ont permis à de grands brûlés de supporter des soins habituellement insoutenables. La RV a aussi été utilisée aux États-Unis contre le stress post-traumatique, notamment après la guerre en Irak, en remettant les soldats en situation dans une Bagdad virtuelle. La France a un retard énorme dans ces domaines, d'û, il me semble, à la puissance de l'école psychanalytique, qui critique le fait de traiter les symptômes sans comprendre les causes.

La RV pourrait aussi présenter des risques. Pensez-vous qu'une déréalisation guette les utilisateurs, autrement dit qu'ils perdent pied avec la réalité ?

Isabelle Viaud-Delmon : Pas plus qu'avec d'autres technologies ou médias susceptibles de nous « transporter » dans des mondes imaginaires, comme la télévision ou les jeux vidéo. Comme pour bien d'autres technologies, il me semble que seules les personnes qui présentent déjà une fragilité – psychologique ou physiologique – sont à risques.

Y a-t-il des études mesurant d'éventuels effets sur le cerveau ?

I. V.-D. : Très peu à ma connaissance. Une étude⁴ a certes montré l'inactivité de 60 % des neurones de l'hippocampe dans le cerveau de rats plongés en RV, mais il est logique que celle-ci provoque une stimulation neuronale limitée

puisqu'elle n'est pas aussi riche que la réalité physique. On est loin du film *Matrix* (1999) où les personnages vivent dans un monde synthétique si parfait qu'ils ne le savent même pas ! Ces technologies ne font pas encore partie de notre quotidien, même si les derniers casques de RV peuvent changer la donne. Alors neuroscientifiques et psychologues s'empareront du sujet, c'est certain.

On parle tout de même du « bord de l'écran » qui tracerait une frontière salutaire entre le virtuel et le réel, même dans les films ou jeux les plus immersifs. Or lunettes de réalité augmentée (RA) ou casque de RV font disparaître ce fameux bord... Et si, de plus, le réalisme des images progresse, que deviendra le risque de déréalisation ?

I. V.-D. : Pour différencier réel et virtuel en RA, un réalisme parfait deviendrait certes perturbant. Mais celui-ci et le bord de l'écran ne me semblent pas les critères les plus importants. Ce qui me paraît primordial concerne plutôt la symbolique de l'objet (casque de RV, lunettes de RA, etc.) : une fois porté, il permet de faire savoir au reste du monde que l'on « est » dans une autre réalité et surtout d'avoir un contrôle clair sur le dispositif, à savoir s'il est « on » ou « off ».

Et si ce n'était plus le cas ? Dans le film *Creative Control*, on évoque une puce connectée au cerveau...

I. V.-D. : Nous entrerions alors dans l'univers terrifiant de *Matrix*... Un tel dispositif agirait directement sur les

1. Responsable du Centre de réalité virtuelle de Méditerranée, plateforme rattachée à l'Institut des sciences du mouvement Étienne-Jules-Marey (CNRS/Univ. Aix-Marseille). 2. Chercheuse au laboratoire Sciences et technologies de la musique et du son (CNRS/UPMC/Min. de la Culture/Ircam). 3. Lire notre article « Guérir le vertige grâce à la réalité virtuelle » et voir notre vidéo « La réalité virtuelle contre les peurs réelles » sur lejournal.cnrs.fr. 4. « Multisensory Control of Hippocampal Spatiotemporal Selectivity », M. Mehta et al., *Science*, 2013, vol. 340 (6138) : 1342-1346.



© DAMIEN DISTRIBUTION

impulsions neuronales, or nous ne sommes faits que de cela : des impulsions neuronales ! Plus moyen donc de distinguer les stimuli d'origine synthétique de ceux d'origine naturelle. Et le on/off serait plus insidieux, vulnérable à une éventuelle manipulation à distance...

D. M. : ... En particulier par des sociétés commerciales ! Les géants du net n'étant pas de grands philanthropes mais des gens qui veulent nous assommer de publicités, de plus en plus ciblées. Connaissant leur vie privée, ils guideraient le comportement des gens en façonnant les pratiques, la pensée, les habitudes. Je veux dire plus encore qu'ils ne le font déjà... Le danger est surtout mercantile.

Vous croyez vraiment que les gens accepteraient d'avoir une puce dans le cerveau ?

D. M. : Si l'on regarde la vitesse avec laquelle les gens ont accepté les smartphones, c'est troublant... Il y a une dangereuse fascination pour la technologie aujourd'hui.

Le fait de partager l'expérience de RV ou de RA à plusieurs n'est-il pas aussi un critère crucial ?

I. V.-D. : Oui. Par exemple, j'ai mené des travaux avec des sujets qui ont des traits de personnalité schizotypiques et s'ils sont plongés seuls en RV, sous le contrôle d'un thérapeute, il n'y a aucun risque. C'est l'opposé de l'application Pokémon Go : les utilisateurs doivent tous attraper les mêmes petits monstres virtuels disséminés en RA dans notre monde physique réel. Pour les trouver, des groupes de gens ont envahi les urgences de certains hôpitaux. Ces personnes partagent une « réalité » alternative, fictive, invisible aux autres gens. Ne vont-ils pas « y croire » plus que de raison ?

Autre paramètre important quand on se plonge en RV ou en RA : la durée de l'immersion...

I. V.-D. : Oui, utiliser un avatar en RV plusieurs heures par jour pourrait provoquer les symptômes de la célèbre « Rubber Hand Illusion », qui nous conduisent à accepter



Lire l'intégralité de l'interview sur lejournald.cnrs.fr

un corps étranger ou une partie de celui-ci comme étant le nôtre. Lors de ces expériences, on observe aussi une baisse de la température et de la fréquence cardiaque du sujet. Compte tenu de ces modifications neurobiologiques, qui vont au-delà du domaine sensoriel, on peut se demander ce que deviendraient nos corps laissés « de côté » lors d'immersions de longue durée...

Les avatars intéressent beaucoup les philosophes allemands Thomas Metzinger et Michael Madary, qui ont publié en février 2016 le premier code d'éthique de la RV. Quel est leur propos ?

I. V.-D. : Selon eux, la RV sera fortement liée aux réseaux sociaux et impliquera de nouvelles questions éthiques. Par exemple, l'utilisation [NDLR : à des fins sexuelles] de l'avatar de quelqu'un sera-t-elle un viol ? La question à l'air naïve mais pourrait se poser compte tenu de la projection neurobiologique des personnes dans leurs doubles virtuels lors d'immersions longues. Et que sera le droit sur les avatars ? Cela va au-delà du droit à l'image dans les médias classiques : on peut fixer les limites d'utilisation dans une publicité ou un film, mais comment faire dans des univers virtuels où la production de nouvelles données sera illimitée ?

La vie sociale de nos avatars sur les réseaux pourrait donc s'avérer à l'avenir très violente...

I. V.-D. : Surtout chez les jeunes adultes qui, alors qu'ils sont en pleine construction de leur personnalité, pourront emprunter une myriade d'identités virtuelles. Enfin, comme pour les autres médias, il faudra aussi encadrer l'accès des enfants car les risques de déréalisation seront plus importants chez eux : la frontière entre la réalité et le monde imaginaire est beaucoup plus malléable.

Que prédiriez-vous pour l'amélioration technique de la RV ?

D. M. : Il devrait y avoir de gros progrès en termes de réalisme d'ici à cinq ans. Nous y travaillons avec TéléCom ParisTech et Catherine Pélachaud, spécialiste des agents conversationnels. De manière générale, ce sont la fluidité des mouvements et l'animation des visages qui pèchent. Même dans le film *Avatar* (2009), qui a coûté des milliards, le sourire de la Sigourney Weaver synthétique laisse vraiment à désirer... Actuellement, l'armée américaine finance des travaux pour scanner toutes les expressions du visage d'une jeune femme réelle et les plaquer sur un personnage virtuel. Ils ont maintenant un monstrueux travail de postproduction devant eux. **II**

“Il y a une dangereuse fascination pour la technologie aujourd'hui.”



La démesure de la précision

Noël Dimarcq, directeur de recherche au laboratoire Syrte¹
Isabelle Sagnes, directrice de recherche au C2N²

Il n'y a pas que la science qui soit affaire de mesures et d'exactitude. Surfer sur Internet ou déterminer sa position grâce à un GPS sont des opérations qui demandent des mesures de temps ou de distance d'une précision très élevée... et sans cesse croissante. À tel point que c'est une véritable course qui s'est engagée dans le monde, pour aboutir à des mesures toujours plus fines. Au cœur de cette course : le photon, sorte de petit corpuscule de lumière.

Dans l'histoire, les mesures de précision sur des ondes lumineuses ont souvent été associées à de grandes découvertes ou à des révolutions scientifiques. À la fin du XIX^e siècle, l'expérience avec l'interféromètre Michelson a été déterminante pour l'émergence de la relativité restreinte. Plus près de nous, un interféromètre d'architecture similaire mais de dimensions géantes a permis la détection des ondes gravitationnelles. Ce type d'appareils aux architectures variées permet de mesurer très précisément diverses grandeurs physiques, comme la vitesse de rotation des fusées ou des avions, les déformations et les contraintes dans de grandes structures ou encore la valeur du champ de pesanteur terrestre, avec des applications en sismologie ou pour la recherche pétrolière.

Optique et photonique à l'appui

De toutes les mesures, celle du temps (et plus exactement la mesure d'une durée) a toujours été la plus précise. Et ce grâce aux nombreux apports de l'optique et de la photonique. Pendant des siècles, les horloges mécaniques ont pu être recalées grâce à l'observation de la lumière émise par les astres dans le ciel, permettant la détermination de l'orientation de la Terre et donc du temps astronomique.

Depuis l'invention des **horloges atomiques** au milieu du XX^e siècle, la précision de la mesure du temps s'est améliorée d'un ordre de grandeur tous les dix ans, atteignant aujourd'hui avec les horloges optiques des niveaux de précision de 18 chiffres après la virgule. Ce qui correspondrait à une dérive de seulement une seconde sur une durée équivalente à l'âge de l'Univers !

Des besoins toujours plus grands

Inutile d'attendre 15 milliards d'années pour exploiter pleinement la précision de ces horloges dans des expériences scientifiques ou dans des applications à fort enjeu socio-économique. Ainsi, les besoins de synchronisation des réseaux de télécommunications deviennent chaque jour plus contraignants avec l'augmentation du débit, le nombre d'objets connectés à synchroniser (20 milliards en 2020), la précision croissante exigée pour la synchronisation des systèmes de transactions bancaires à haute fréquence, des réseaux distribués d'énergie (smart grids) ou des nouvelles usines intelligentes exploitant la révolution numérique.

Mais l'application la plus connue à ce jour reste sans aucun doute les systèmes mondiaux de positionnement par satellites³ : ici, la position de l'utilisateur est calculée par triangulation à partir des distances entre ce récepteur et les satellites de la constellation qui émettent vers le sol des signaux synchronisés sur des horloges atomiques. Connaissant la vitesse de propagation de ces signaux, égale à la vitesse de la lumière, ces distances sont déduites des mesures des durées de propagation entre les satellites et le récepteur au sol. Cette application illustre à merveille l'importance de la précision de la mesure du temps : une

HORLOGE ATOMIQUE

Horloge dans laquelle la mesure du temps est basée sur la fréquence d'un oscillateur à quartz contrôlée par un phénomène de résonance atomique. C'est l'instrument de mesure du temps le plus précis.



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

erreur d'un milliardième de seconde conduit à une erreur de positionnement de 30 centimètres.

Ceci n'est pas gênant pour connaître la position d'une automobile mais n'est plus négligeable pour l'atterrissage des avions par exemple, ou en géophysique où la précision millimétrique est requise pour étudier les mouvements des plaques tectoniques ou suivre l'évolution du niveau des océans. Cette façon de mesurer une distance à partir d'une durée est très utilisée, dans les travaux publics mais aussi pour déterminer précisément – au centimètre près – la distance Terre-Lune par télémétrie laser. Une autre application plus terre à terre et moins agréable pour certains est le contrôle des vitesses des véhicules à l'aide de jumelles laser.

Un juge de paix pour la science

Les systèmes mondiaux de positionnement par satellites sont aussi une belle illustration que la théorie de la relativité d'Einstein n'est pas utile qu'aux scientifiques : les effets relativistes dus au mouvement des satellites (relativité restreinte) et à la gravitation terrestre (relativité générale) induiraient au bout d'un jour un décalage du temps des horloges correspondant à des erreurs de positionnement de plus de 10 kilomètres si ces effets n'étaient pas connus et corrigés ! Mais la théorie d'Einstein est elle-même mise sur la sellette par les théories contemporaines cherchant à unifier les théories de la physique quantique et de la gravitation. Encore une fois, ce sont des mesures de précision qui seront le juge de paix en cherchant à détecter une déviation à la théorie d'Einstein, par exemple avec des comparaisons d'horloges atomiques ultra stables fonctionnant dans les laboratoires et bientôt dans l'espace, comme l'horloge Pharaon à atomes refroidis par laser, qui sera installée en 2018 sur la Station spatiale internationale. **II**

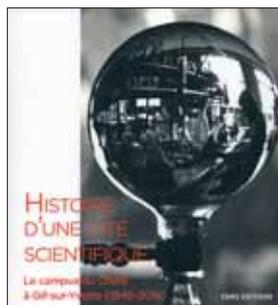
1. Systèmes de référence temps-espace (Observatoire de Paris/CNRS/Univ. Pierre et Marie Curie/LNE) 2. Centre de nanosciences et de nanotechnologies (CNRS/Univ. Paris Sud/ Univ. Paris Saclay). 3. GPS (USA), GLONASS (Russie), Beidou (Chine), Galileo (Europe).

À lire

ÉCOLOGIE

Cet ouvrage fait le point sur les recherches en écologie de la santé. Rassemblant les contributions d'une cinquantaine de scientifiques, il permet de comprendre pourquoi il est essentiel de remonter aux sources environnementales et comportementales de nos maladies. Émergence de pathogènes, phénomène de résistance aux antibiotiques, essor des maladies chroniques comme le cancer, le diabète ou les maladies cardiovasculaires... l'approche évolutive et écologique apporte un éclairage précieux sur de nombreux problèmes de santé, en prenant en compte les transformations de notre environnement et de nos modes de vie.

Écologie de la santé. Pour une nouvelle lecture de nos maux. Stéphane Blanc, Gilles Boëtis, Martine Hossaert-McKey et François Renaud (dir.), préface de Stéphanie Thiébault, Le Cherche Midi-CNRS, janvier 2017, 192 p., 24,90 €



HISTOIRE DES SCIENCES

Il y a tout juste 70 ans, au sortir de la guerre, le CNRS acquiert le domaine de Gif-Sur-Yvette afin d'y ériger une « cité scientifique » appelée à devenir incontournable dans une recherche française en reconstruction. De ces débuts jusqu'à l'émergence du projet « Paris-Saclay », avec même un petit détour... par le XIII^e siècle (!), ce livre retrace les grandes étapes de l'histoire de ce lieu. Et explique comment des recherches innovantes en biologie, en chimie, en sciences du climat et de l'environnement, en ont fait au fil des décennies une référence internationale.

Histoire d'une cité scientifique. Le campus du CNRS à Gif-sur-Yvette (1946-2016), Denis Guthleben (dir.), CNRS Éditions, décembre 2016, 128 p., 20 €

POLICE

Dans cette enquête inédite, le politologue Sebastian Roché dissèque en profondeur les rapports entre police et population, afin de tirer la sonnette d'alarme : de toutes les polices d'Europe, la police française est celle qui donne le moins satisfaction aux citoyens et qui souffre du plus grand déficit de légitimité. Sa mission essentielle est pourtant de contribuer à la cohésion de la société ; sans une relation forte entre police et population, aucune démocratie ne peut vivre paisiblement. Le chercheur plaide pour une réforme profonde de la police mais aussi de la gendarmerie.



De la police en démocratie, Sebastian Roché, Grasset, novembre 2016, 384 p., 22 €



MÉDITERRANÉE

De « Abraham » à « zones marines protégées », ce dictionnaire est une véritable invitation au voyage en Méditerranée. Plus de deux cents entrées très variées (dont biodiversité, football, mathématiques, métissage, tourisme...) permettent de dresser un état des lieux des

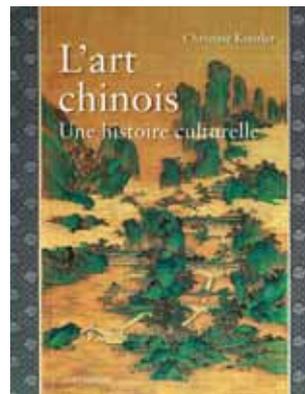
connaissances et des recherches menées dans toutes les disciplines des sciences humaines et sociales. Cet ouvrage ambitieux s'appuie d'ailleurs sur les travaux du réseau d'excellence européen Ramses², qui réunit trente centres de recherche et universités.

Dictionnaire de la Méditerranée, Dionigi Albera, Maryline Crivello et Mohamed Tozy (dir.), en collaboration avec Gisèle Seimandi, Actes Sud, avec le concours de la Maison méditerranéenne des sciences de l'homme (CNRS/Univ. Aix-Marseille), octobre 2016, 1694 p., 49 €

ART

Tout à la fois essai et livre d'art, cet ouvrage dépeint, en six grandes périodes, l'histoire culturelle de la Chine pour donner à voir et à lire ses principales réalisations artistiques dans leurs dimensions rituelle, spirituelle et religieuse. La sinologue Christine Kontler parvient ainsi à restituer toute la richesse d'une civilisation plurimillénaire qui s'est étendue sur un territoire aussi vaste qu'un continent. Une synthèse qui nous permet de suivre les évolutions dynastiques qui ont accompagné les transformations politiques, mais aussi les changements sociaux et économiques de l'empire du Milieu.

Les nombreuses illustrations, photographies, plans et documents commentés permettent de découvrir les multiples interactions du monde chinois avec l'Asie des steppes et celle du Sud-Est, mais aussi avec l'Inde, l'Iran, le monde arabo-islamique et l'Europe.



L'art chinois. Une histoire culturelle, Christine Kontler, CNRS Éditions, septembre 2016, 248 p., 59 €



► Reed Richards, l'homme élastique du film *Les quatre fantastiques*.

Réparer les corps élastiques



© DELEGATION PMA

Pascal Sommer

Biologiste à l'Institut des sciences du mouvement¹

Le corps des êtres humains – et des animaux – s'est édifié pour et par le mouvement. La clé de ce mouvement est la capacité de différents organes et tissus (os, peau, vaisseaux, ligaments, etc.) à revenir à leur forme initiale après déformation : c'est l'élasticité. C'est elle par exemple qui permet aux parois des poumons et des artères de se gonfler et de se dégonfler selon les variations de tensions. Ou à la vessie d'être efficace. Et si le tissu prend du temps pour revenir à sa forme initiale, on parle globalement de viscoélasticité. Or, passé la vingtaine et une fois la croissance achevée, les fibres élastiques ne se renouvellent pas ou peu.

Perte d'élasticité et maladies

Nous disposons donc d'un capital élastique qui s'altère, plus ou moins rapidement selon notre hygiène de vie. La recherche s'attache désormais à développer des solutions pour étudier, protéger, stimuler voire remplacer les fibres élastiques ou les composants viscoélastiques du corps.

Se pencher sur le concept d'« humain élastique » est aujourd'hui une priorité riche de promesses. La perte d'élasticité est en effet l'une des causes de nombreuses pathologies ou de leur aggravation. On peut citer l'insuffisance cardiaque, la rupture d'anévrisme, l'emphysème, les rides, la

perte de phonation (ce sont les vibrations des cordes vocales et du tympan qui assurent la phonation et l'audition), le mauvais fonctionnement des intestins, la rupture de ligaments, les hernies discales, une forme de glaucome ou de cécité, etc.

Le vieillissement n'est pas seul en cause. Certains syndromes génétiques induisent en effet une faiblesse d'élasticité ou de viscoélasticité. On a ainsi pu mettre en évidence chez la souris un prolapsus génital (« descente d'organes ») lié à une malformation génétique des tissus élastiques. Enfin, tout ce qui est oxydant agresse les fibres élastiques et accélère leur dégradation. Rayons UV, cigarettes, pollution et malbouffe sont au premier plan des toxiques. Moins connue est la « caramélisation » du corps, liée à la surabondance de sucres dans l'organisme (notamment dans les diabètes).

La modélisation, un outil essentiel

Les caractéristiques mécaniques d'élasticité et de viscoélasticité des tissus et des organes sont liées à de subtils arrangements physico-chimiques au niveau de molécules ou entre molécules. Il est donc capital de connaître ces propriétés à toutes les échelles, notamment *via* la modélisation mathématique, afin de comprendre, réparer, remplacer, opérer. On sait par exemple que certaines tumeurs

n'ont pas la même élasticité qu'un tissu sain, cette caractéristique permettant d'améliorer leur détection avec des ultrasons. Mais le secret pour régénérer l'élasticité de la peau chez un grand brûlé n'est pas encore connu. Si l'on veut simuler les déformations d'un organe en temps réel afin d'aider le chirurgien lors d'une opération, là encore, rien n'est possible sans la parfaite connaissance des propriétés élastiques des tissus et leur modélisation, de l'échelle de la protéine à celle de l'organe complet en passant par les organites intracellulaires.

La réparation de l'« humain élastique » apparaît aujourd'hui sous un jour nouveau où les sciences de l'ingénierie jouent un rôle majeur. Les perspectives de recherche sont multiples. Il existe de rares approches pharmaceutiques. Par exemple, l'extrait d'aneth, qui a fait l'objet d'un brevet CNRS-BASF, démontre une efficacité significative pour stimuler la synthèse de fibres élastiques. L'industriel le propose en dermocosmétologie.

Biomatériaux et ultrasons

Afin de suppléer des tissus mécaniquement défaillants chez l'humain, on peut aussi lui implanter des biomatériaux. Pour assurer la rigidité de ces derniers, des substituts des fibres de collagène sont déjà disponibles sur le marché. C'est par

¹ Unité CNRS/Université Aix-Marseille.



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

exemple le cas pour les stents (sortes de ressorts métalliques glissés dans une artère pour la dilater).

Pour les améliorer, on envisage de fabriquer des biomatériaux biomimétiques (qui imitent la nature en s'inspirant de ses formes et matières). On sait faire synthétiser une forme d'élastine humaine par des cellules *in vitro* et des essais sont en cours pour l'intégrer dans des biomatériaux, voire par impression 3D. Mais eu égard à l'encadrement éthique en France, il faudrait aussi envisager de la synthétiser chimiquement en tout ou en partie.

On peut enfin évoquer les ultrasons qui, en plus de leur intérêt bien connu pour établir des diagnostics, montrent des vertus thérapeutiques en favorisant la croissance ou la régénération des tissus. Tandis qu'un autre concept fait rêver : une reprogrammation épigénétique qui pourrait moduler de façon bénéfique l'expression du patrimoine génétique. Il s'agirait de contrecarrer le cercle vicieux qui s'installe quand l'élasticité des tissus est réduite. Ce serait utile chez l'adulte, et c'est absolument nécessaire chez des enfants affectés par une mutation génétique provoquant un mauvais fonctionnement des tissus élastiques (syndromes de la cutis laxa, de Marfan, de Williams, etc.).

Respirer, courir, manger, uriner, chanter ou accoucher sont des actions qui mobilisent notre élasticité. Le concept d'« humain élastique » conduit à des émergences scientifiques importantes avec de possibles applications cliniques. Le colloque « Réparer l'humain élastique », organisé le 5 décembre 2016 par le CNRS et l'Académie des technologies, a ainsi été la première grande occasion nationale de réunir plusieurs disciplines sur cette question cruciale et universelle. II

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



L'astate, si rare et si précieux pour traiter le cancer

François Guérard

Chimiste au Centre de recherche en cancérologie Nantes-Angers¹

DR

Mendeleïev avait soupçonné son existence dès 1869. Ce n'est pourtant qu'en 1940 que l'astate (At) a été officiellement découvert, après de nombreuses fausses annonces. Et pour cause : c'est l'un des éléments chimiques les plus énigmatiques. La raison principale des mystères qui l'entourent encore aujourd'hui est son extrême rareté à l'état naturel. Issu de la désintégration d'éléments lourds tel l'uranium, il est très instable et se désintègre à son tour en quelques heures seulement. À un instant T, on estime que seuls quelques grammes d'astate sont présents de façon transitoire sur la croûte terrestre. Un isotope de ce radioélément intéresse pourtant beaucoup la recherche médicale : l'astate-211. Lorsqu'il se désintègre, celui-ci libère en effet une particule radioactive ayant une énergie suffisante pour détruire les cellules qu'elle traverse, ce qui en fait un candidat sérieux à l'élimination de tumeurs cancéreuses difficiles à soigner.

Utiliser des isotopes radioactifs pour éliminer des tumeurs n'est pas nouveau. Cependant, les traitements actuels emploient des éléments radioactifs émetteurs de particules « bêta », qui ont la propriété de pénétrer de plusieurs millimètres dans les tissus. Si elles sont utiles pour le traitement des tumeurs de taille importante, ces particules se révèlent inopérantes pour le traitement des tumeurs de moins d'un millimètre, car elles détruisent aussi les tissus sains voisins.

A contrario, l'astate-211 est un émetteur de particules « alpha » qui, en raison de leur faible pénétration dans la matière (l'épaisseur d'une feuille de papier, soit de 3 à 4 cellules à peine), pourraient permettre le traitement de cellules cancéreuses isolées (par exemple dans le cas de leucémies) ou de tumeurs de petite taille comme les micrométastases disséminées, et venir en complément de

traitements conventionnels durant lesquels des résidus de tumeurs indétectables peuvent subsister et conduire à des rechutes.

L'astate-211, trop rare à l'état naturel pour un usage médical, peut aujourd'hui être produit artificiellement à l'aide d'accélérateurs de particules, comme le cyclotron Arronax à Nantes. Mais pour le rendre utilisable en médecine, encore faut-il trouver le moyen de le transporter au plus près des cellules cancéreuses...

La solution aujourd'hui privilégiée par la recherche consiste à l'« accrocher » à un anticorps : celui-ci est en effet capable de repérer les cellules tumorales et de se fixer sur des antigènes bien identifiés que les cellules cancéreuses possèdent à leur surface. L'association anticorps-astate-211 agit alors comme un minuscule missile à tête chercheuse qui dépose sa charge radioactive de façon très localisée au niveau de la tumeur, tout en limitant l'irradiation des tissus sains. Mais pour que cela fonctionne, il faut que ces deux éléments restent bien accrochés jusqu'à ce que le missile atteigne sa cible... Le Centre de recherche en cancérologie de Nantes et le National Institute of Health (Etats-Unis) proposent pour cela d'utiliser de nouveaux composés, les sels d'iodonium : grâce à eux, l'opération de radiomarquage – c'est son nom – devient plus efficace et surtout, moins toxique pour l'organisme.

Publiés cet été dans la revue *Chemistry - A European Journal*², les résultats obtenus à Nantes permettent d'envisager sérieusement une utilisation prochaine de l'astate-211 en clinique. II



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

1. Unité CNRS/Inserm/Univ. de Nantes/Univ. d'Angers. 2. *Chem. Eur. J.*, 22 août 2016, vol. 22 (35) : 12332-12339.

À voir

Un voyage en traduction

Visite guidée avec Barbara Cassin, philosophe et commissaire de l'exposition « Après Babel, traduire ».

PAR FRANCIS LECOMPTE

» Jusqu'au 20 mars
au Mucem,
à Marseille

Le Mucem (Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée) propose cet hiver l'exposition « Après Babel, traduire », dont il a confié le commissariat à Barbara Cassin, directrice de recherche émérite au CNRS¹.

Comment montrer la traduction ? La philosophe et helléniste, qui travaille depuis des années sur la façon dont les idées voyagent et se transmettent d'une langue à l'autre, a pris la question à bras-le-corps. « J'ai imaginé cette exposition comme la démonstration, très concrète et très simple, d'un savoir-faire avec les différences, explique la chercheuse. À partir de là, il y a énormément de choses à montrer. » Comme ces versions, l'une très noire, l'autre rose, de la *Tour de Babel* du peintre anversois Abel Grimmer, qui posent directement la question de la diversité des langues : malédiction ou chance ? Ou encore ces trois lamelles de Pyrgi, datées du VI^e siècle avant Jésus-Christ : bien qu'elles racontent le même événement, les deux premières en étrusque, la troisième en phénicien, elles n'ont pas suffi à percer tous les mystères de l'écriture étrusque, car la troisième est plutôt une adaptation qu'une traduction : elle dit « presque » la même chose, et c'est dans cet écart, dans cet « entre-deux » qu'est la traduction, que la civilisation méditerranéenne s'est constituée, commente Barbara Cassin. De la reproduction des plaques embarquées en 1972 dans la sonde Pioneer par la Nasa, qui décrivent les êtres humains à l'aide de pictogrammes à l'attention d'éventuels extraterrestres, au clinquant juke-box jouant les innombrables versions du tube planétaire *My Way* créé par Claude



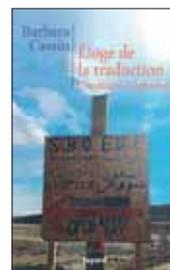
© A. MELLIOR/MUCEM

François, la philosophe ne s'est fixé aucune limite dans ses choix, en allant « du plus exceptionnel au plus trivial, du plus ancien au plus contemporain ». Et pour être sûre de bien se faire comprendre, elle a donné carte blanche, parmi d'autres créateurs, au graphiste Brice Tourneux, qui met en scène des « intraduisibles » recueillis auprès de Marseillais d'origine étrangère, ces mots de leur langue natale dont le français n'arrive pas à restituer vraiment le sens : ainsi le Brésilien frappé de « saudade » ne se reconnaîtra jamais tout à fait dans notre « nostalgie ».

Dans cette volonté très politique de valoriser la diversité des langues comme le moyen d'accepter l'autre, le plus parlant, si l'on ose dire, attend le visiteur en toute fin d'exposition avec le petit film *Signer en langues*, réalisé pour l'occasion par Nurith Aviv et Emmanuelle Laborit. On y découvre que le malentendant français n'utilise pas le même langage des signes que l'Allemand ou l'Américain. La comédienne y traduit ainsi en autant de façons le mot « culture » : le Français fait du doigt un geste qui part de la tête quand le Japonais, lui, emboîte ses deux mains... Troublant. II

À lire

DES LANGUES ET DES CULTURES
À l'origine du *Dictionnaire des intraduisibles*, traduit (lui !) dans plus de dix langues depuis sa parution en 2004, Barbara Cassin revient dans son dernier essai sur ses rencontres de philosophe avec la traduction. Conçu comme un journal de bord, ce livre est un plaidoyer pour la singularité des langues et des cultures qu'elles portent. Il entre en résistance contre la domination du globish, cet anglais globalisé, sans âme ni culture, dans lequel nombre de chercheurs doivent désormais publier leurs travaux.



Éloge de la traduction.
Compliciter l'universel,
Barbara Cassin,
Fayard, octobre 2016,
241 p., 19 €.

1. Centre Léon-Robin de recherche sur la pensée antique (CNRS/Univ. Paris-Sorbonne/ENS Paris).



© KAKSONEN/INRIA

Protection des données : le chiffrement ne suffit pas

Stéphanie Delaune

Informaticienne à l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires¹



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

Désormais sensibilisé aux différents aspects de la sécurité informatique, le grand public sait qu'il est nécessaire de protéger ses données personnelles.

Cela passe notamment par le chiffrement, qui fait maintenant partie de notre vie quotidienne sans que nous en ayons toujours conscience. Le chiffrement permet ainsi d'assurer la confidentialité de nos courriers électroniques, de verrouiller les données stockées sur notre disque dur, mais aussi de protéger notre numéro de carte bancaire lors d'un achat sur Internet, ou notre anonymat lors d'une procédure de vote en ligne. Mais au fond, sommes-nous bien protégés ?

Un chiffrement nécessaire...

Malheureusement, ces mesures de protection n'étant pas toujours déployées, nous fournissons chaque jour des quantités considérables de données à un large éventail d'organisations. Par exemple, l'utilisation de cartes de paiement sans contact n'est pas dépourvue de risques. Même si, suite à une demande de la Cnil (Commission nationale de l'informatique et des libertés), il n'est normalement plus possible de lire l'historique de nos transactions, dans les faits de nombreuses cartes se montrent toujours un peu trop bavardes. Ce problème n'est d'ailleurs pas l'apanage du secteur bancaire. La Belgique a ainsi introduit en 2004 un passeport électronique, dont il n'avait pas été jugé utile de sécuriser les échanges. Lorsque le passeport électronique est arrivé en France en 2006, un mécanisme de protection a été mis en œuvre permettant le chiffrement des données échangées.

... mais contournable

L'utilisation du chiffrement est importante, mais la sécurité que celui-ci confère peut être réduite à néant si les données

chiffrées ne sont pas transportées dans de bonnes conditions.

Un véritable protocole de protection des données est constitué de plusieurs couches successives dont le chiffrement n'est que l'élément de base.

Revenons au passeport électronique français. Une faille a été découverte dans son protocole de sécurité : en cas d'incident lors de l'authentification du document, un message d'erreur était envoyé par le passeport. Or cette petite fuite d'information suffisait pour identifier et tracer le porteur du passeport lors de tous ses déplacements. Bien que la robustesse du chiffrement n'ait pas été remise en cause, ce protocole présentait une importante faille de sécurité.

Menaces sur l'isoloir

Comme en témoigne la dernière élection présidentielle américaine, le vote électronique fait toujours débat. Le manque de transparence des dispositifs est pointé du doigt. Des solutions existent mais là encore, une fois les briques de base cryptographiques mises en place, leur assemblage est loin d'être aisé. Le système de vote Helios en est une bonne illustration. Il s'agit d'un protocole de vote développé avec soin par des universitaires et offrant bien plus de garanties que la plupart des systèmes actuels. Et pourtant, une analyse de sécurité a révélé que ce protocole était sujet à un comportement étrange qui permettait dans certaines circonstances de lever l'anonymat d'un participant. Quelle est cette faille ?

Plaçons-nous dans le cadre d'une élection professionnelle à laquelle je participe, et imaginons que je souhaite connaître le vote d'un collègue. Le protocole Helios protège les votes par des mécanismes de chiffrement qui empêchent un tiers ayant accès au bulletin

chiffré d'en connaître le contenu. Il m'est en revanche possible de recopier ce bulletin chiffré pour le glisser à mon tour dans l'urne. Dans des situations où peu de suffrages sont exprimés, il me sera alors possible de déduire le vote du collègue à la simple vue des résultats des élections. Cette faille – qui a été corrigée depuis – menaçait donc l'un des fondements des scrutins démocratiques : la confidentialité.

Vérifier l'ensemble du protocole

Comment éviter de telles attaques ? Bien qu'il soit difficile de prouver qu'un protocole est exempt de failles, une large communauté de chercheurs développe des outils de vérification automatique permettant de donner des garanties de sécurité.

De tels outils analysent à l'heure actuelle des protocoles relativement petits et mettant en jeu des briques cryptographiques plutôt classiques, en se concentrant sur des propriétés de sécurité comme la confidentialité et l'authentification. Cependant, avec l'émergence de nouvelles classes de propriétés de sécurité liées au respect de la vie privée et l'arrivée d'applications de plus en plus complexes, ces outils ne suffisent plus. Et pour corser le tout, les primitives cryptographiques utilisées sont de plus en plus exotiques.

Des solutions existent pour améliorer la protection des données. En effet, bon nombre d'attaques pourraient être évitées en respectant quelques règles simples lors de la conception des protocoles. Il s'agit par exemple de s'assurer que chaque message non seulement est protégé en confidentialité et en intégrité, mais qu'il contient aussi les informations nécessaires pour identifier sa provenance, sa destination et le protocole à l'origine de son émission. Bien qu'importantes, ces bonnes pratiques ne sont malheureusement pas toujours respectées. **II**

1. CNRS/ENS Rennes/Inria/Insa Rennes/Télécom Bretagne/Univ. de Bretagne-Sud/Univ. de Rennes 1.

Purificación López-García, microbiologiste au laboratoire Écologie, systématique et évolution*

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD



...de ma première expédition au nord-est de l'Éthiopie, sur le site hydrothermal de Dallol¹. Ce volcan en formation, unique au monde, est situé à 80 mètres au-dessous du niveau de la mer. Début 2016, nous avons prélevé une grande diversité d'échantillons et mesuré les paramètres physico-chimiques dans les vasques et les geysers, à la fois éphémères et dynamiques, qui jalonnent le site. C'est l'endroit de tous les extrêmes : des records de salinité (deux à trois fois plus élevée que la mer Morte), de température (supérieure à 100° C) et d'acidité. Dallol est une sorte de modèle scientifique à ciel ouvert pour comprendre le fonctionnement de notre planète à une époque où la géologie dominait encore la biologie. Nous avons repéré la présence de micro-organismes dans certains de nos échantillons. De nouveaux prélèvements, collectés en janvier 2017, devraient nous permettre d'étudier la chimie particulière de ces fluides hydrothermaux et les adaptations moléculaires de la vie dans ces conditions infernales."

PHOTO : D. MOREIRA/ESE/CNRS PHOTOTHÈQUE



Lire aussi notre article « Un souffle de vie dans l'enfer de Dallol » sur lejournal.cnrs.fr

1. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud/AgroParisTech. 2. Spécialisée en environnements extrêmes, Purificación López-García est coordinatrice scientifique du projet Dallol.



de Denis Guthleben,
historien au CNRS

Si vis pacem...

1870 et le triomphe de la « science germanique » – le mot est de Renan –, 1914-1918 et la Grande Guerre des chimistes, 1939-1945 et la mobilisation des physiciens... Ajoutez à cela les innombrables conflits qui ont enflammé toutes les régions du monde, et vous constaterez vite que l'histoire récente témoigne à volonte des liens unissant les scientifiques à la guerre. L'histoire plus ancienne n'est d'ailleurs pas en reste non plus. Quant à l'actualité, chacun jugera en feuilletant son quotidien ! Mais la paix, dans tout ça ? Hé bien ! ces savants déterminés, cocardiers et meurtriers – quelque chose me dit que la rédaction va encore recevoir des wagons de courriers – s'en sont aussi souciés, et 2017 fournit l'occasion de revenir sur l'une des initiatives les plus originales dans ce domaine.

Einstein, Russell et... Pugwash

Connaissez-vous Pugwash ? Il s'agit d'un village de Nouvelle-Écosse, réputé pour ses pêcheurs, ses forêts et ses mines de sel. En arrivant, des affiches vous avertiront : « World Famous for Peace ». Ce n'est pas que les « Pugwashiens » souffrent d'un problème d'ego. Leur fierté, légitime, provient de l'accueil en juillet 1957 de la première « conférence sur la science et les affaires du monde ». Hébergée par un philanthrope du cru, Cyrus Eaton, elle a réuni 22 scientifiques de renom, originaires de dix pays, dont les cinq membres permanents du conseil de sécurité de l'ONU.

Mais Pugwash n'a pas été le siège de cette rencontre par hasard. Deux ans plus tôt paraissait le manifeste dit d'Einstein-Russell, un texte préparé par le mathématicien Bertrand Russell et le physicien Joseph Rotblat, qu'Albert Einstein avait signé quelques jours avant sa mort, suivi par d'autres prix Nobel dont le Français Frédéric Joliot-Curie. Condamnant les armes de destruction massive, notamment la nouvelle bombe H, il invitait les dirigeants du monde à privilégier les solutions pacifiques dans le règlement de leurs différends, et proposait d'établir une conférence de scientifiques susceptibles d'agir dans ce sens.

Lors de sa présentation à la presse, le 9 juillet 1955, Bertrand Russell avait su trouver les mots les plus

frappants : « J'adresse de la part des signataires de ce texte un avertissement à tous les gouvernements puissants du monde dans l'espoir fervent qu'ils accepteront d'autoriser leurs citoyens à survivre. » Joseph Rotblat, entré dans l'histoire dix ans plus tôt comme le seul physicien à avoir claqué la porte du projet Manhattan¹, avait pour sa part insisté sur un extrait non moins percutant du manifeste : « *Souvenez-vous de votre humanité. Oubliez le reste* ». Dans la foulée, il avait commencé à travailler avec Cyrus Eaton à l'organisation de la première conférence.

Une stratégie payante

Celle-ci aurait dû se tenir dès 1956, mais les événements en ont décidé autrement : il a fallu attendre que s'éteigne la crise de Suez, dernier écueil en date dans la « bonne » marche du monde. Enfin réunis en 1957, les participants se sont accordés sur la création d'un mouvement permanent, qui a pris le nom du village canadien et vu fleurir partout des antennes : Pugwash-France, par exemple, est né en 1964 autour de personnalités telles que Raymond Aubrac, Alfred Kastler, André Lwoff et Jules Moch.

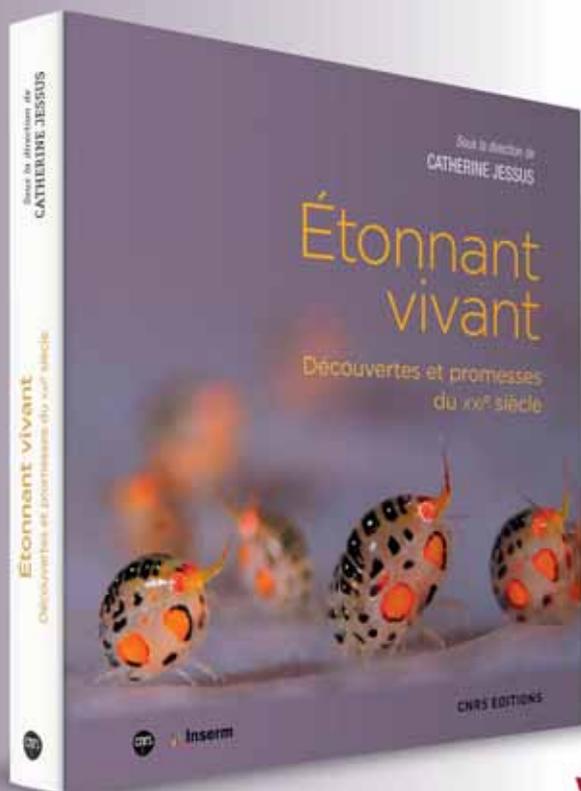
Surtout, les membres de Pugwash se sont entendus pour privilégier l'action sobre et discrète aux grandes manifestations publiques, une stratégie payante puisque le mouvement peut revendiquer un rôle dans l'élaboration de nombreux accords, du traité d'interdiction des essais nucléaires à

la convention sur l'interdiction des armes chimiques. À la clé, l'organisation a partagé le prix Nobel de la paix avec son principal père fondateur, Joseph Rotblat, en 1995.

La fin de la guerre froide n'a effectivement pas congelé Pugwash. Non seulement le spectre d'une guerre nucléaire, loin d'avoir disparu, s'est disséminé. Et, chemin faisant, d'autres problématiques ont émergé, qui, à l'image des questions environnementales, pèsent sur l'avenir de l'humanité. Mais le cœur de métier du mouvement demeure toujours la paix. Et son ambition, de corriger un vieil adage : *si vis pacem... para pacem*² ! ||

“*Souvenez-vous
de votre humanité.
Oubliez le reste.*”

1. Le projet Manhattan est le nom du programme de recherche, né en 1939, qui aboutit à la production de la première bombe atomique, durant la Seconde Guerre mondiale. 2. Si tu veux la paix, prépare la paix. Le vieil adage dit : *si vis pacem... para bellum* (si tu veux la paix, prépare la guerre).



Un voyage à travers les grandes découvertes et les promesses portées par les sciences du vivant au XXI^e siècle,
sous la direction de
Catherine Jessus

En librairie le **23 mars 2017**

www.cnrseditions.fr



**DÉCOUVREZ
L'INTRANET
DU CNRS**



TROUVEZ

rapidement une réponse
à vos questions



INFORMEZ-VOUS

sur la vie
de votre organisme

IDENTIFIEZ

plus facilement
vos collègues



PARTICIPEZ

à la diffusion
de l'information



> <https://intranet.cnrs.fr>

#NuitDesOG

La nuit des ondes gravita- tionnelles

Paris
Annecy
Nice
Lyon
Marseille
Lille
Dunkerque
Nancy
Bordeaux
Limoges
Orléans
Strasbourg
Cascina (Italie)
Florence (Italie)

20 mars 2017

Une soirée festive

À partir de 18 heures, dans douze villes de France et en Italie.
Au programme : conférences scientifiques, quizz, table ronde
et visite virtuelle.

Des concours ouverts à tous

Date limite de dépôt des dossiers le 1^{er} mars 2017.

www.cnrs.fr/nuit-des-ondes-gravitationnelles



www.cnrs.fr



Société Française
de Physique

En partenariat avec

**Ciel &
espace**