



CRISPR-Cas9

La technique
qui révolutionne
la génétique

Ce que révèle
**la grotte
de Bruniquel**
sur Néandertal

Quand
l'économie
se penche sur nos
comportements

**Le Quai
Branly**
souffle ses
10 bougies

LA 1^{ère} COURSE INTERNATIONALE
DE MOLÉCULES-VOITURES

ALLEMAGNE

ETATS-UNIS

NANOCAR RACE

FRANCE

ÉTATS-UNIS/AUTRICHE

JAPON

UN ÉVÉNEMENT CNRS

38 HEURES DE COURSE EN DIRECT

SUR NANOCAR-RACE.CNRS.FR

Toulouse, 14 et 15 octobre 2016 #NanoCarRace



www.cnrs.fr

Organisateur:



Participants:



Partenaires:

scientaomicron



casden



Sponsors d'équipes:

PSA PEUGEOT CITROËN
pour l'équipe française

TOYOTA
pour l'équipe japonaise

© CNRS - Remuind Mourin

Rédaction :

3, rue Michel-Ange – 75794 Paris Cedex 16

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

Alain Fuchs

Directrice de la rédaction :

Brigitte Perucca

Directeur adjoint de la rédaction :

Fabrice Impériali

Rédacteur en chef :

Matthieu Ravaut

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 :

Clélia Bayard, Lydia Ben Ytzhak, Kheira Bettayeb, Marie Chadeaux, Audrey Diguët, Grégory Fléchet, Léa Galanopoulo, Sylvain Guilbaud, Denis Guthleben, Carina Louart, Véronique Meder, Philippe Nessmann, Philippe Testard-Vaillant

Secrétaire de rédaction :

Isabelle Grandrieux

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 0994-7647

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 : mesure du champ magnétique dans la grotte de Bruniquel.

PHOTO : É. FABRE-SSAC

Le CNRS, en menant des recherches aux frontières de la connaissance, est un acteur majeur de l'avancement de la science et du progrès économique, social et culturel, et je suis très heureuse d'avoir rejoint cette belle maison en janvier dernier en tant que directrice générale déléguée à la science. La diversité et la richesse des recherches menées au CNRS et la qualité et l'étendue des découvertes issues du travail de ses équipes s'illustrent parfaitement, page après page, dans ce numéro de *CNRS Le Journal*. Je retiens notamment l'enquête sur les fameux ciseaux moléculaires CRISPR-Cas9, qui permettent de modifier spécifiquement et précisément l'ADN de tout être vivant – de quoi susciter de formidables espoirs thérapeutiques mais aussi d'importantes questions éthiques – ou encore l'article sur la grotte de Bruniquel, qui bouleverse notre vision de l'homme de Néandertal. En parcourant ce numéro, il est frappant de constater que le CNRS est également complètement en phase avec les besoins de notre société. En réaction aux attentats qui ont touché notre pays en novembre dernier, le président du CNRS, Alain Fuchs, avait lancé un appel à projets pour, je le cite, « mieux comprendre » ce qui s'est passé

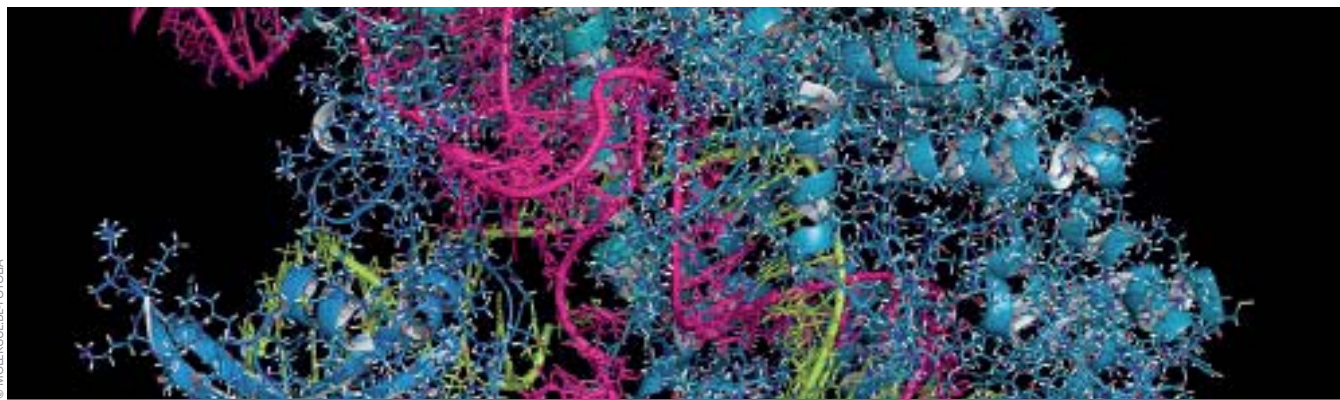
“Le CNRS peut à la fois se mobiliser rapidement et s'engager sur le long terme.”

et « pour offrir, sinon des solutions, du moins de nouvelles voies d'analyse et d'action ». En soutenant le vaste programme sur la mémoire du 13 novembre, qui a démarré en juin et devrait durer douze ans, le CNRS montre qu'il peut à la fois se mobiliser rapidement et s'engager sur le long terme. Je vous invite aussi à parcourir les résultats de l'enquête sur les 126 structures de recherches communes entre le CNRS et les entreprises, qui illustrent la richesse de l'interface que nos laboratoires développent avec un large spectre d'entreprises. C'est la preuve que notre organisme, contrairement à certaines idées reçues, sait travailler avec le monde économique et inventer des modèles de collaboration souples et efficaces. Je salue enfin le talent et le dynamisme de nos jeunes chercheurs, et plus particulièrement de deux mathématiciens, Vincent Calvez et Hugo Duminil-Copin, qui viennent d'être primés par la European Mathematical Society. Le renouvellement des générations au sein de notre organisme est crucial pour maintenir nos ambitions ; c'est pourquoi l'emploi scientifique reste une priorité du CNRS, qui s'est concrétisée cette année par l'ouverture de 300 postes de chercheurs et d'au moins 300 postes d'ingénieurs et techniciens. La qualité des recherches que nous menons doit beaucoup à la créativité, à l'engagement et à la persévérance des femmes et des hommes qui font la science au quotidien. Ensemble, nous sommes le CNRS ! Je vous souhaite une bonne lecture.

Anne Peyroche,
directrice générale déléguée
à la science du CNRS



© DÉLÉGATION FMA



© MOLEKULI.BEFOTOLIA

GRAND FORMAT

13

La révolution CRISPR-Cas9.....	14
Dans le ventre de la Fournaise.....	24
Quand l'économie s'intéresse à nos comportements ...	30



© LE PARISENO. CORSIAN

Quelle sera
la mémoire du
13 novembre?

6

EN PERSONNE 5

Claire Voisin au Collège de France.....	9
Des mathématiciens français primés à Berlin.....	10
Vainqueurs en trois minutes.....	11
L'homme qui a numérisé le procès de Mandela.....	12



© WIRE.MAN.FOTOLIA.COM

Comment
nos cellules
ont appris
à respirer

52

EN ACTION 35

Comment mieux évaluer le travail des élèves?.....	36
Un simulateur virtuel pour les équipes d'urgence.....	38
Ces entreprises qui misent sur la recherche.....	39
Séismes lents: un autre regard sur les failles.....	40
En Europe, les chercheurs soignent leur réseau.....	42
Les nouveaux défis de la spintronique.....	44
Ondes gravitationnelles et trous noirs, acte 2.....	46
Bruniquel, la grotte qui bouleverse notre vision de Néandertal.....	47
Bouger pour s'identifier.....	48
Le musée du quai Branly souffle ses 10 bougies.....	50
Agriculture: des logiciels pour les « circuits courts ».....	54



© 3DSCULPTOR.FOTOLIA.COM

Blockchain:
l'autre révolution
venue du bitcoin

62

LES IDÉES 55

Raoul Wallenberg, le Juste oublié.....	56
Sherlock Holmes, un héros rassurant?.....	58
La biomasse, nouvel eldorado de la chimie?.....	60
Mieux penser les interfaces informatiques.....	61

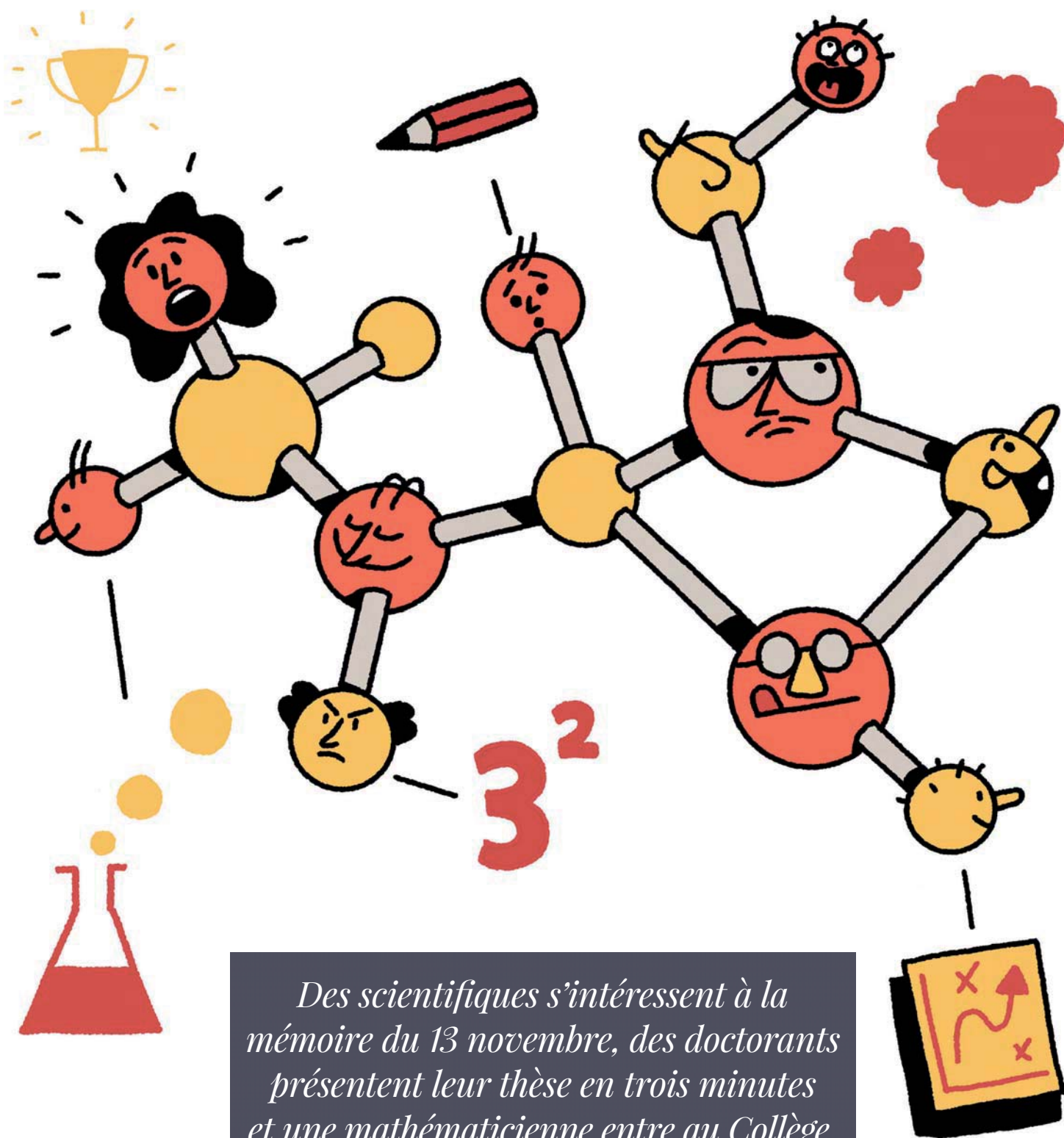
CARNET DE BORD

Laurent Maget nous raconte un souvenir de recherche..... 64

LA CHRONIQUE DE DENIS GUTHLEBEN

Les crédits de la science..... 66

EN PERSONNE



Des scientifiques s'intéressent à la mémoire du 13 novembre, des doctorants présentent leur thèse en trois minutes et une mathématicienne entre au Collège.

ILLUSTRATION : LEON EDLER POUR CNRS LE JOURNAL

Quelle sera la mémoire du 13 novembre ?

PAR LAURE CAILLOCE

SOCIÉTÉS

Entretien. Baptisé « 13-Novembre », un vaste programme de recherche qui vise à analyser les témoignages de 1 000 personnes touchées par les attentats de Paris vient de démarrer. L'historien Denis Peschanski¹ et le neuropsychologue Francis Eustache² nous expliquent ses objectifs.

Comment l'idée du projet « 13-Novembre » vous est-elle venue ?

Denis Peschanski : En tant que chercheurs, Francis Eustache et moi-même sommes tous deux directement intéressés par cette thématique de la construction de la mémoire, lui comme neuropsychologue et moi comme historien. Nous sommes d'ailleurs partie prenante d'une plateforme technologique sur ce thème, Matrice³, qui traite des mémoires de la Seconde Guerre mondiale et du 11 septembre 2001. L'appel d'Alain Fuchs, le président du CNRS, à la communauté scientifique quelques jours après les attentats nous a interpellés : que pouvait-on faire, en tant que scientifiques, face à cet événement qui a ébranlé toute la communauté nationale ? Il y a quelque chose de l'ordre de la mission citoyenne du chercheur dans le programme « 13-Novembre ».

Francis Eustache : Concrètement, nous avons été directement inspirés par ce qui s'est fait à New York après les attentats du 11 septembre 2001 : un psychologue américain de la New School, William Hirst, a recueilli quelque 3 000 témoignages de personnes ayant vécu ces événements après un mois, un an, trois ans, cinq ans, dix ans, et les a comparés les uns aux autres. À l'époque, ce type d'étude longitudinale – sur une longue période de temps, donc – était totalement inédit et a d'ailleurs livré des résultats passionnants : confus, les premiers récits des témoins du 11 septembre faisaient ainsi une large place aux émotions et aux sensations, notamment olfactives, puis au fil des ans, les faits véhiculés par les médias et repris dans les

familles ont été progressivement réintégrés aux souvenirs individuels afin de construire un discours cohérent. L'étude de Hirst présentait néanmoins des limites : les questionnaires étaient remplis par les personnes elles-mêmes, le groupe de témoins a varié d'une session à l'autre, surtout, l'étude est restée essentiellement psychologique. Avec « 13-Novembre », l'idée est d'aller beaucoup plus loin.

En quoi le projet « 13-Novembre » consiste-t-il ?

D. P. : Ce programme de recherche transdisciplinaire prévu sur douze années vise à étudier la construction et l'évolution de la mémoire après les attentats du 13 novembre 2015. Nous souhaitons en particulier comprendre l'articulation entre mémoire individuelle et mémoire collective, comment l'une et l'autre évoluent au fil du temps et comment elles s'influencent mutuellement pour aboutir à un discours cohérent qui a un sens pour l'individu comme pour la collectivité. De par son ampleur, « 13-Novembre » est une première mondiale. Le programme intègre aussi bien des historiens, des neuropsychologues, des sociologues, des juristes, des lexicologues que des mathématiciens. Six laboratoires sont impliqués à ce jour⁴, et plusieurs institutions comme le CNRS, l'Inserm, Santé publique France⁵, l'Institut national de l'audiovisuel (INA), le service cinématographique des Armées et les Archives de France, soit plusieurs centaines de personnes.

Comment cette étude va-t-elle se dérouler ?

F. E. : L'étude se focalise sur une cohorte de 1 000 personnes qui ont été les témoins directs ou indirects des

1. Directeur de recherche au Centre d'histoire sociale du xx^e siècle (CNRS/Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne). 2. Directeur d'études à l'École pratique des hautes études. Il dirige le laboratoire de Neuropsychologie et neuroimagerie de la mémoire humaine et la plateforme d'imagerie Cyceron. 3. Équipement d'excellence créé en 2011 pour conduire des études transdisciplinaires sur la mémoire. 4. Le Centre de recherche sur les liens sociaux, le laboratoire de Neuropsychologie et neuroimagerie de la mémoire humaine, le laboratoire Neuropsychiatrie de Montpellier, l'Institut des systèmes complexes, le Centre de recherche sur les médiations et le laboratoire Bases, corpus et langage. 5. L'ex-Institut national de veille sanitaire va conduire une étude épidémiologique un an après les attentats afin d'analyser leur impact psycho-traumatique et l'efficacité des dispositifs de prise en charge mis en œuvre.



▲ Denis Peschanski et Francis Eustache, instigateurs du projet « 13-Novembre ».

revivions pour notre cerveau qui le réencode à nouveau. Cette nouvelle évocation, qui permet de consolider le souvenir, le transforme également : elle se fait dans des circonstances et devant des personnes particulières, qui nous amènent à insister sur tel élément plutôt que tel autre, à gommer tel ou tel détail, sans compter l'influence que la société en général, les médias, la famille, les collègues, etc., vont avoir sur la façon dont nous allons raconter l'histoire. Tous ces processus sont extrêmement complexes et encore mal connus des scientifiques.

“Nous souhaitons comprendre l'articulation entre mémoire individuelle et mémoire collective, comment elles s'influencent mutuellement.”

attentats du 13 novembre à Paris. Quatre groupes ont été identifiés : le cercle 1 des personnes directement exposées aux attentats, survivants, proches des victimes et intervenants ; le cercle 2 des habitants des quartiers visés par les terroristes ; le cercle 3 des quartiers périphériques de Paris ; et le cercle 4, plus lointain, des habitants de plusieurs villes de province, dont Caen et Metz. Quatre campagnes d'entretiens filmés seront réalisées : la première est en cours et durera jusqu'au début de l'automne 2016, la deuxième aura lieu deux ans plus tard, la troisième, cinq ans plus tard, et la dernière, dix ans plus tard.

Pourquoi réaliser plusieurs vagues d'entretiens ?

F. E. : On sait depuis quelques années déjà que les souvenirs que chacun d'entre nous emmagasine ne sont pas figés une fois pour toutes. Il s'opère tout au long de la vie un jeu subtil de consolidation-reconsolidation. Chaque fois que nous évoquons un souvenir, c'est un peu comme si nous le

Ce processus de transformation vaut-il pour la mémoire collective ?

D. P. : Tout à fait ! Comme la mémoire individuelle, la mémoire collective obéit à un jeu subtil de construction-reconstruction. Il y a une raison à cela : la mémoire collective ne se préoccupe pas de la « vérité historique des faits », c'est une représentation sélective d'événements passés qui participe à la construction identitaire d'un groupe. Au filtre de cette mémoire ne sont retenus que les éléments perçus comme structurants dans la construction de notre identité collective, parce qu'ils donnent un sens à notre histoire commune. Ainsi, l'exode de juin 1940, synonyme de fuite, voire de honte, a laissé peu de traces dans nos souvenirs communs alors qu'il a touché des millions de personnes. À l'inverse, les faits de résistance d'une minorité de français sont entrés dans le grand récit collectif, car ils véhiculaient des valeurs essentielles pour la reconstruction de la France. Voir comment cette représentation collective s'élabore en temps réel et comment elle dialogue avec les mémoires individuelles est une opportunité unique pour un historien.

Les entretiens seront filmés par l'Institut national de l'audiovisuel et par le service cinématographique des Armées, partenaires à part entière du projet. Pourquoi ces partenariats ?

D. P. : La décision de filmer les entretiens répond à un double objectif. Scientifique bien sûr, car toutes sortes ...

... d'études vont pouvoir être conduites à partir de ce matériel : grâce au big data et à la modélisation, on va pouvoir étudier les expressions faciales des témoins et leurs émotions, le débit de la parole et les silences. Des retranscriptions de ces vidéos vont également être réalisées afin de conduire des études textométriques qui permettront de savoir quels mots reviennent le plus souvent dans les témoignages et à quelle fréquence, quels termes se retrouvent régulièrement associés... Mais filmer les entretiens obéit aussi à un objectif patrimonial. Il était important pour nous que ces témoignages puissent être archivés et transmis aux générations futures, car ils constituent une mémoire précieuse de ces terribles événements pour la communauté nationale.

Si le recueil de témoignages constitue le socle de « 13-Novembre », ce n'est pas le seul volet : une étude biomédicale sur l'état de stress post-traumatique est également prévue...

F. E. : Avec « 13-Novembre », on ne travaille pas sur n'importe quel épisode historique. Il s'agit d'événements d'une extrême violence qui ont provoqué chez de nombreux témoins un ensemble de troubles appelés « état de stress post-traumatique » (ESPT) : ces personnes souffrent de pensées et d'images envahissantes ; elles ont des sursauts, des sueurs, des troubles du sommeil et développent des comportements d'évitement pour fuir toutes les circonstances qui pourraient leur rappeler les attentats. Certaines ont cependant mis en place des mécanismes de défense et s'en sortent mieux que d'autres. C'est tout cela que nous voulons étudier de façon extrêmement précise afin de produire une description complète de ces troubles et de leur manifestation dans le cerveau. Parmi les 1 000 témoins interrogés, 180 issus des cercles 1 et 2, soit les personnes les plus directement touchées par les attentats⁶, seront dirigés vers la plateforme d'imagerie cérébrale Cyceron que je dirige à Caen afin de passer des tests neuropsychologiques ainsi que des IRM anatomiques et fonctionnelles.

Ne craignez-vous pas de déclencher de nouvelles crises de stress avec ces examens ?

F. E. : Il est hors de question – et inutile – de soumettre ces personnes à de nouvelles images traumatisantes. Nous avons donc opté pour une méthode imaginée récemment en Angleterre, baptisée « think-no think ». Avec l'ESPT, des images et des pensées intrusives s'imposent à la personne. Le paradigme « think-no think » modélise cette situation. Nous entraînons les personnes à associer un mot et un objet banals qui n'ont rien à voir l'un avec l'autre – par exemple le mot ordinateur et l'image d'un arbre. Nous les emmenons ensuite à l'IRM et leur demandons de continuer à faire cette association, puis de s'en dégager. Cela permet



d'analyser finement les mécanismes à l'œuvre dans l'ESPT, sans avoir à convoquer les images des attentats.

Le programme « 13-Novembre » inclut également un volet réseaux sociaux. Pourriez-vous nous en dire un mot, en conclusion ?

D. P. : Ce volet va être mené conjointement par les chercheurs de l'INA et de l'Institut des systèmes complexes (CNRS), qui ont respectivement développé des outils pour aspirer et analyser les contenus des réseaux sociaux. L'idée ici est d'analyser l'ensemble des tweets échangés lors des attentats du 13 novembre, notamment les liens qu'ils contiennent (vers des vidéos, des sites d'information, etc.) afin de voir comment se diffuse l'information – ou la rumeur. Les réseaux sociaux participent à plein à l'émotion, donc à la construction de la mémoire. C'est ce mécanisme que nous voulons passer au crible. ||

► **Plateforme Cyceron où des IRM des personnes les plus directement touchées par les attentats seront réalisées.**

“Il était important pour nous que ces témoignages puissent être archivés et transmis aux générations futures.”



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

6. Des personnes du cercle 4, le plus éloigné des attentats, seront également examinées et serviront de population de contrôle à cette étude.

Claire Voisin au Collège de France

Le 2 juin, la mathématicienne Claire Voisin a donné sa leçon inaugurale au Collège de France. Titulaire de la nouvelle chaire consacrée à la géométrie algébrique, Claire Voisin est reconnue par ses pairs, en particulier pour ses recherches sur la « topologie des variétés projectives et kählériennes » et sur la théorie de Hodge, un pan important de cette discipline. Cette dernière s'est profondément renouvelée dans les années 1950, notamment avec les

travaux de l'école française, dont ceux de Jean-Pierre Serre et d'Alexander Grothendieck et a vu de nombreux développements récents. Directrice de recherche de classe exceptionnelle au CNRS, médaille d'argent de l'organisme en 2006, Claire Voisin est la première mathématicienne à entrer au Collège de France. Elle y rejoint ses confrères Alain Connes, Pierre-Louis Lions et Jean-Christophe Yoccoz.



© P. INBERT/COLLÈGE DE FRANCE



Lire notre article
« Les mille paysages de
la géométrie algébrique »
sur lejournal.cnrs.fr

Le palmarès du Festival du film de chercheur

Le 3 juin, l'édition 2016 du Festival du film de chercheur, organisé par le CNRS et l'université de Lorraine, a livré son palmarès. Le Grand Prix « Film de chercheur », d'une valeur de 6 000 euros, a été attribué à *Denise Bernot*, des scientifiques Alice Vittrant et Alexandra de Mersan, réalisé par Céline Ferlita et Maryline Leducq. Ce film retrace l'itinéraire étonnant et courageux de Denise Bernot, professeure de birman à l'Institut national des langues et civilisations orientales de 1960 à 1989. Deux films ex aequo ont reçu le prix « Coup de pouce du festival », d'une valeur de 3 000 euros : *Independance Days, sur les traces des jeunes prédateurs marins*, d'Aurélien Prudor et Henri Weimerskirch, réalisé par Aurélien Prudor, et *Mémoire promise*, de Gaetano Ciarcia, réalisé par Jean-Christophe Monferran. Par ailleurs, le concours « Filmer sa recherche » a récompensé Nicolas Clabaux, lauréat du prix « CNRS Images », pour son projet « Se faufiler dans les embouteillages : quels risques pour les usagers des deux-roues motorisés » (qui se concrétisera donc par un court métrage réalisé par CNRS Images), et Thomas Pouyet, pour son projet « La tour Saint-Paul de Cormery : relecture archéologique ».



» www.filmdechercheur.eu

Le CNRS dans le bon Tempo

Le groupe RH&M a attribué le prix de l'équipe RH digitale 2016 pour la « Temporalité collaborative » au CNRS pour la mise en place de l'application Tempo, un outil de suivi des activités des chercheurs dans le cadre des projets européens et internationaux. Le trophée a été remis à Pierre Coural, directeur des ressources humaines du CNRS, et à Cédric Bosaro, responsable Pôle Europe et contrats à la Mission pilotage et relations avec les délégations régionales et les instituts.



© DR

Ils ont amélioré le diagnostic des AVC

En automne dernier, une équipe de mathématiciens et d'informaticiens s'est vue récompensée du 1^{er} prix Bull-Joseph Fourier 2015 pour son innovation qui caractérise en quelques minutes le type d'accident vasculaire cérébral (AVC) dont souffre un patient, ce qui permet une meilleure prise en charge. Précisément, Frédéric Nataf, Frédéric Hecht et Pierre-Henri Tournier, du Laboratoire Jacques-Louis Lions¹, Victorita Dolean, du Laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné² et de l'université de Strathclyde³, et Pierre Jolivet, de l'Institut de recherche en informatique de Toulouse⁴, ont démontré avec la société EMTensor la faisabilité d'une technique d'imagerie basée sur des micro-ondes et qui permet d'identifier le type d'AVC (ischémique ou hémorragique) en moins de quinze minutes. Or la rapidité du diagnostic est un paramètre capital pour les soins et la survie du patient. Chaque année, le prix Bull-Joseph Fourier distingue un travail de recherche dans les domaines de la simulation informatique et du calcul haute performance en France.

1. Unité CNRS/Univ. Paris Diderot/UPMC. 2. Unité CNRS/Univ. Nice Sophia Antipolis. 3. Department of Mathematics and Statistics. 4. Unité CNRS/Univ. Toulouse 1 Capitole/UT2J/UPS/INP de Toulouse.

Des mathématiciens français primés à Berlin

PAR CHARLINE ZEITOUN

Les prix de la European Mathematical Society (EMS), dont le congrès s'est déroulé du 18 au 22 juillet derniers à Berlin, ont notamment couronné les Français Hugo Duminil-Copin et Vincent Calvez. Tous les quatre ans, l'EMS décerne, entre autres récompenses, dix prix à des jeunes chercheurs en mathématiques de moins de 35 ans, Européens ou en poste en Europe, lors d'un grand congrès. Celui-ci rassemble les mathématiciens européens, deux ans avant le Congrès international des mathématiciens (ICM), lors duquel, tous les quatre ans également, sont remises les médailles Fields, souvent considérées comme le Nobel des mathématiques.

Les prix de l'EMS sont d'ailleurs parfois présentés comme une antichambre de ces fameuses médailles. Artur Avila, Cédric Villani et Wendelin Werner, respectivement lauréats de la médaille Fields en 2014, 2010 et 2006, avaient ainsi d'abord été distingués par l'EMS. Depuis la création de ces prix européens en 1992, dix-huit Français, dont quatre femmes, en ont été les lauréats. Lors du même congrès, un autre Français, Patrice Hauret, du Centre de technologie Michelin, a reçu pour sa part le prix Felix Klein. ▀

HUGO DUMINIL-COPIN NÉ EN 1985

Considéré comme l'un des plus brillants probabilistes de sa génération, cet ancien élève de l'École normale supérieure, actuellement en poste à l'université de Genève, rejoindra le laboratoire Alexander Grothendieck¹, à Bures-sur-Yvette, en septembre prochain. Ses principaux sujets concernent les marches aléatoires. « *C'est une suite de pas, aléatoires*, commente Christoph Sorger, directeur de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions du CNRS. *Chacun est indépendant du précédent, comme si le marcheur oubliait constamment où il allait : c'est en cela qu'on parle parfois de "marche de l'ivrogne".* » Le jeune probabiliste a notamment réussi à déterminer, avec Stanislav Smirnov, une constante qui caractérise le nombre de chemins possibles pour des marches aléatoires auto-évitantes (qui ne passent pas deux fois au même endroit) dans le cas où le marcheur se déplace sur un réseau en deux dimensions en forme d'alvéoles. Les marches aléatoires ont de nombreuses applications en physique.



VINCENT CALVEZ NÉ EN 1981

Spécialiste des mathématiques appliquées à la biologie, ce chercheur à l'Unité de mathématiques pures et appliquées² s'était déjà fait remarquer en 2014 en recevant la médaille de bronze du CNRS. Elle venait récompenser les travaux de son équipe, qui se poursuivent aujourd'hui dans le cadre d'un projet ERC³, pour modéliser le déplacement des bactéries dans un liquide, calculer leur vitesse individuelle et collective. « *Ce joli résultat a été obtenu en adaptant les équations qui décrivent l'invasion des crapauds-buffles dans le nord de l'Australie depuis les années 1930*⁴ », commente Christoph Sorger. Depuis son doctorat à l'université Pierre et Marie Curie-Paris 6, où il a étudié la modélisation des mouvements d'agrégats de cellules, Vincent Calvez n'a eu de cesse que de décrire le vivant et les mouvements collectifs grâce aux mathématiques. Membre de l'équipe Inria Numed, il travaille ainsi avec de nombreux biologistes et biophysiciens.

1. Unité CNRS/IHÉS. 2. Unité CNRS/ENS de Lyon/Inria. 3. European Research Council. 4. Formalisme imaginé par Laurent Desvillettes (ENS Cachan), Sylvie Méléard (École polytechnique) et Régis Ferrière (ENS Paris).

LE CHIFFRE

30

Français figurent parmi les 277 lauréats de l'appel Advanced Grant 2015, dont les résultats ont été publiés au printemps par le Conseil européen de la recherche (ERC). Cet appel a pour vocation de financer des chercheurs confirmés, reconnus dans leur domaine, à hauteur de 2,5 millions d'euros maximum pour une durée de cinq ans. La France est cette année le 3^e pays en nombre de chercheurs lauréats.

Des nominations en régions

Plusieurs nominations viennent d'avoir lieu dans les délégations régionales du CNRS. Ainsi, depuis le 1^{er} juillet, **Benoît Debosque est le nouveau délégué régional Côte d'Azur**. Il succède à Béatrice Saint-Cricq. **Véronique Debisschop a été nommée déléguée régionale de la délégation Paris B**, à compter du 1^{er} août, en remplacement de Christine d'Argouges. Enfin, **Bertrand Minault est nommé délégué régional de la délégation Île-de-France Sud**, à compter du 1^{er} septembre, où il remplace donc Véronique Debisschop.

Vainqueurs en trois minutes

Le 31 mai, la finale nationale du concours « Ma thèse en 180 secondes », organisée à Bordeaux par le CNRS et la Conférence des présidents d'université, s'est soldée par la victoire de Mathieu Buonafine. En trois minutes, il est parvenu à séduire le jury en présentant, à la manière d'une enquête policière, le sujet de sa thèse : l'étude, grâce à des souris, de certaines molécules qui contribuent à l'apparition de nombreuses pathologies cardiovasculaires chez l'homme. Deux autres étudiants ont aussi été récompensés : Bertrand Cochard d'abord, dont la thèse porte sur la philosophie de Guy Debord, a invité le public à s'imaginer dans un supermarché pour comprendre le concept de « réification ». Nicolas Urruty, le troisième lauréat, a quant à lui étudié le lien entre réduction des pesticides et rendement du blé en comparant son étude à une psychanalyse freudienne. Les trois lauréats participeront à la finale internationale qui se tiendra à Rabat, au Maroc, en septembre.

+

▶ Voir leurs prestations sur lejournal.cnrs.fr



Les prix de la Fondation Simone et Cino del Duca

Chaque année, la Fondation Simone et Cino del Duca, abritée par l'Institut de France, récompense des scientifiques et projets de recherche. Le Grand Prix scientifique a ainsi été remis à Erwan Bezard, de l'Institut des maladies neurodégénératives¹, et à Ronald Melki, de l'Institut des neurosciences Paris-Saclay², pour leurs recherches sur les molécules responsables des maladies neurodégénératives, notamment la maladie de Parkinson³. Le Grand Prix d'archéologie a été décerné, pour sa part, au programme de recherche sur la mer Rouge. Dirigé par Pierre Tallet, du laboratoire Orient et Méditerranée, textes-archéologie-histoire⁴, celui-ci porte sur la présence égyptienne sur la côte de la mer Rouge et dans la péninsule du Sinaï, des origines de la civilisation pharaonique à la fin du Nouvel Empire.

1. Unité CNRS/Univ. de Bordeaux/CEA/Inria. 2. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud. 3. Lire notre article en ligne « Ces protéines folles qui minent notre cerveau ». 4. Unité CNRS/Univ. Paris-Sorbonne/Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne/EPHE/Collège de France.

L'homme qui a numérisé le procès de Mandela



Lire l'intégralité de l'article et visionner la vidéo sur lejournal.cnrs.fr

SOCIÉTÉS  NUMÉRIQUE 

Ingénierie. Cinquante-deux ans après le procès de Nelson Mandela, les 230 heures de l'audience ont enfin pu être numérisées et remises à l'Afrique du Sud grâce à l'Archéophone, une invention d'Henri Chamoux.

PAR PHILIPPE NESSMANN

Voilà un demi-siècle, le leader anti-apartheid Nelson Mandela était condamné à la prison à perpétuité par la Cour suprême de Pretoria. Les audiences du procès n'avaient encore jamais été intégralement numérisées pour des raisons de fragilité du support original. C'est désormais chose faite, grâce à l'ingéniosité d'Henri Chamoux, ingénieur d'études à l'ENS de Lyon affecté au Larhra¹. « Toute la difficulté, explique celui-ci, tenait au support d'enregistrement : le Dictabelt. Conçu en 1947 par la société Dictaphone, il s'agit d'un cylindre en vinyle souple que l'on met en rotation et sur lequel le son est gravé sous la forme d'un sillon. Le cylindre est ensuite aplati et rangé dans une enveloppe. »

Sa spécialité : la numérisation

Certains Dictabelts du procès avaient déjà été numérisés à l'aide d'un ancien lecteur placé sur une plaque chauffante, le but étant de lisser les pliures apparues sur les cylindres. Mais deux d'entre eux avaient été définitivement rayés. Il fallait donc trouver un autre système : celui mis au point par Henri Chamoux, auteur de la numérisation de milliers d'enregistrements de la Belle Époque et d'une thèse sur le sujet, semblait tout indiqué : « Mon invention est constituée d'un lecteur universel de cylindres, que j'ai baptisé Archéophone, et d'un mandrin adapté aux Dictabelts. Il existe différents modèles de cylindres. Pour les lire, il faut



© R. CUNNINGHAM

plusieurs phonographes et ceux-ci les endommagent à la lecture. J'ai eu l'idée de fabriquer un lecteur qui s'adapte à tous les modèles. Quant au mandrin, il s'agit d'un cylindre au diamètre ajustable : on glisse le Dictabelt dessus, puis on élargit le mandrin, ce qui bloque le Dictabelt et fait disparaître les pliures. Finis le chauffage et les risques de détérioration ! »

Les enregistrements du procès, confiés par l'Afrique du Sud à l'Institut national de l'audiovisuel (INA) en 2014, ont été numérisés dans un laboratoire du Larhra hébergé par l'ENS à Montrouge. Les 591 Dictabelts y sont arrivés dans huit gros albums, chaque cylindre étant accompagné d'une feuille avec son minutage et le nom des intervenants. « Pendant les quinze mois qu'a duré la numérisation, poursuit Henri Chamoux, j'ai vécu avec les voix des accusés et de leurs avocats ;

avec celle, profonde et toujours calme, du juge Quartus de Wet ; avec celle du procureur Percy Yutar, qui, à la fin de chaque question, avait une montée chromatique très théâtrale... »

Henri Chamoux a travaillé environ deux heures sur chaque Dictabelt. « À certains endroits, la pointe de lecture sautait, ce qui empêchait d'entendre le mot suivant, indique-t-il. Plus souvent encore, la voix de l'orateur disparaissait à cause de l'état du sillon gravé. Il me fallait alors retourner le cylindre et le numériser à l'envers : la pointe ne sautait plus et les paroles devenaient audibles... mais à l'envers ! Grâce à un logiciel de traitement du son, je les remettais à l'endroit et les collais sur l'enregistrement numérique. »

Un archéologue du son

Après ce travail de titan, les enregistrements sont partis à l'INA pour un ultime dépoussiérage afin d'effacer les crépitements dus aux Dictabelts. Et c'est ainsi que, cinquante-deux ans après la fin du procès, les enregistrements numérisés ont été remis à l'Afrique du Sud. Dans les années à venir, un transfert de compétences devrait se mettre en place pour permettre aux Sud-Africains de numériser eux-mêmes les dizaines de milliers d'autres Dictabelts en leur possession.

En attendant, dans le laboratoire de Montrouge, la voix de Nelson Mandela s'est tue, remplacée par des chansons, concerts, saynètes en français et en flamand. Le VIAA, Institut flamand d'archivage, a en effet confié au Larhra plus de 400 cylindres provenant de musées, d'archives municipales ou d'universités belges. Ces fragiles cylindres en cire, dont certains sont déjà trop abîmés pour être écoutés, doivent être rapidement numérisés pour être sauvés. Un travail sur mesure pour l'archéologue du son qu'est Henri Chamoux et pour son ingénieur Archéophone. **II**

1. Laboratoire de recherche historique Rhône-Alpes (CNRS/Univ. Lumière Lyon 2/Univ. Jean Moulin Lyon 3/Univ. Grenoble Alpes/ENS de Lyon).

GRAND FORMAT



Une technique révolutionnaire pour modifier notre ADN, le Piton de la Fournaise à la loupe et des économistes qui scrutent nos comportements.

ILLUSTRATION : LEON EDLER POUR CNRS LE JOURNAL



La révolution CRISPR-Cas9

VIVANT 

La découverte en 2012 d'une technique rendant la manipulation du génome aussi facile qu'un copier-coller bouleverse la biologie et suscite des interrogations éthiques inédites.

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR LÉA GALANOPOULO



Des ciseaux génétiques pour le cerveau

En permettant d'intervenir sur l'ADN de manière chirurgicale, CRISPR-Cas9 et ses semblables ouvrent des opportunités enthousiasmantes pour la recherche biologique, notamment pour l'étude du cerveau.

CRISPR-Cas9... Derrière cet acronyme barbare (Clustered regularly interspaced short palindromic repeats) se cache une innovation révolutionnaire : remplacer un gène par un autre ou le modifier. La méthode paraît presque trop simple, et pourtant elle est le fruit de près de trente ans de recherche. CRISPR-Cas9 (prononcez « crispère ») fonctionne comme des ciseaux génétiques : il cible une zone spécifique de l'ADN, la coupe et y insère la séquence que l'on souhaite.

CRISPR-Cas9 est un complexe formé de deux éléments : d'un côté, un brin d'ARN, de séquence homologue à celle de l'ADN que l'on veut exciser, et de l'autre, une endonucléase, le Cas9. Dans la cellule, le brin d'ARN va reconnaître la séquence homologue sur l'ADN et s'y placer. L'enzyme Cas9 se charge alors de couper la chaîne ADN complémentaire à ce brin d'ARN. Le trou laissé par le passage du CRISPR-Cas9 pourra alors être comblé par n'importe quel nouveau fragment d'ADN. ...

ENDONUCLÉASE
Enzyme capable de couper au milieu d'une chaîne ADN.



“C’est une technique révolutionnaire, certainement l’innovation majeure du XXI^e siècle en biotechnologie !”



© L. FELICIANO/LA SUITE POUR CNRS LE JOURNAL

... « C’est une technique révolutionnaire, certainement l’innovation majeure du XXI^e siècle en biotechnologie ! », s’enthousiasme Jean-Stéphane Joly, directeur de recherche à l’Institut des neurosciences Paris-Saclay¹. Si CRISPR-Cas9 met le monde scientifique en émoi, c’est qu’il étend les possibilités de retouche génétique à l’infini : supprimer un gène malade, le remplacer par une séquence saine ou encore étudier la fonction précise d’un brin d’ADN à la molécule près... Aucun secteur de la biologie n’y échappe, et de nouvelles applications sont publiées quotidiennement.

Les origines de la découverte du CRISPR-Cas9 remontent à 1987, lorsque des chercheurs japonais découvrent chez la bactérie *Escherichia coli* des séquences d’ADN dont l’enchaînement des bases (A, C, T, G) se lit de la même manière dans les deux sens : à l’instar des mots « radar » ou « kayak », on parle de palindromes... Le rôle de ces fragments, baptisés CRISPR, pour « courtes répétitions en palindrome regroupées et régulièrement espacées », ne sera finalement mis en lumière que vingt ans plus tard : d’une part quand on constatera que les morceaux d’ADN intercalés entre les palindromes sont souvent des séquences d’ADN de virus, d’autre part quand on montrera que les bactéries porteuses de ces séquences résistent mieux aux infections. L’ARN d’un complexe CRISPR-Cas9 lui permet ainsi de reconnaître l’ADN viral présent dans la bactérie et de s’y lier pour ensuite le détruire.

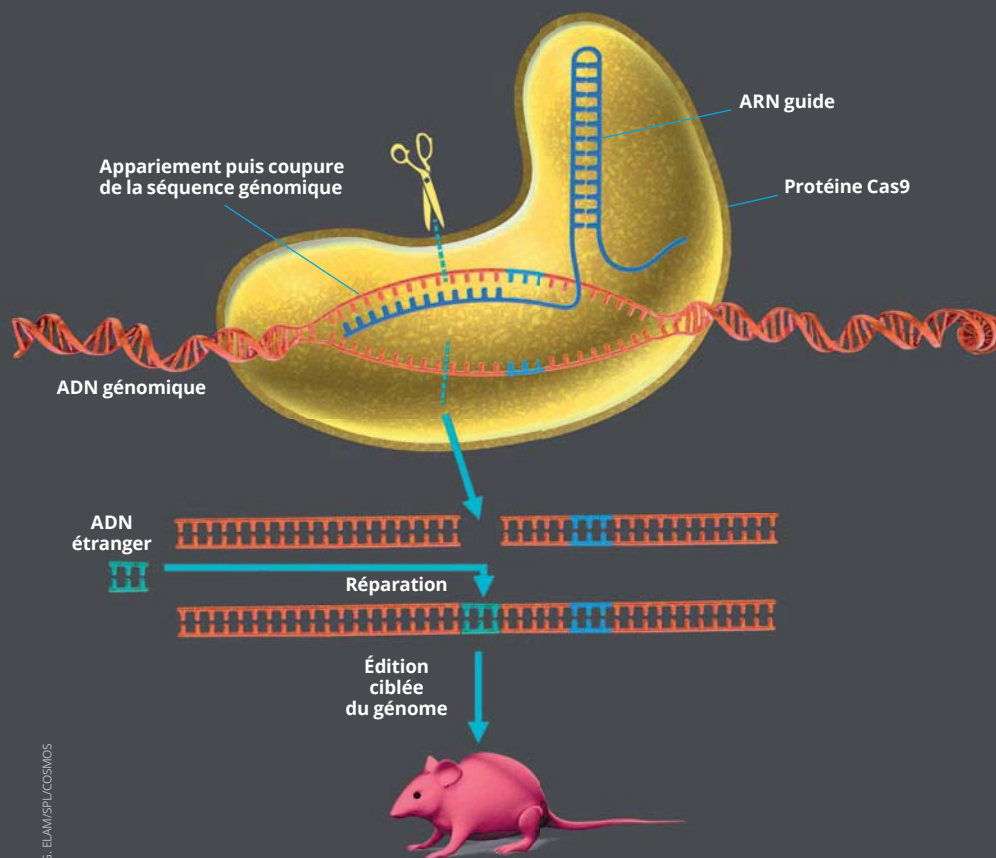
Dès 2012, les chercheuses Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna vont s’inspirer de cette réaction immunitaire bactérienne et la détourner pour en faire un outil biotechnologique à la portée de tous.

Comprendre la logique du cerveau

Cela suscite de nombreux espoirs, et notamment celui d’élucider le fonctionnement du cerveau. L’utilisation des CRISPR démultiplie en effet les possibilités de recherche fondamentale en neurosciences : en coupant un gène précis sur un modèle animal, on peut déterminer plus précisément son rôle, dans le développement du cerveau par exemple. De plus, elle ouvre la voie à de nombreuses applications thérapeutiques. Par exemple, si un gène est incriminé dans une maladie mentale, il devient envisageable, à terme, de l’éliminer, le corriger ou le remplacer avec notre bistouri génétique.

On ne s’étonnera donc pas qu’en neurosciences plusieurs recherches utilisent déjà le CRISPR². C’est notamment le cas des travaux de Jean-Stéphane Joly. « Grâce à l’édition génomique, nous caractérisons avec précision des mutations responsables de la microcéphalie chez le poisson zèbre », explique-t-il. Le chercheur coordonne

1. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud. 2. Le 24^e colloque de la Fondation Ipsen, tenu en avril dernier, était exclusivement consacré à l’édition du génome dans les neurosciences. 3. Laboratoire Génétique et développement du cortex cérébral, Institut Jacques-Monod (CNRS/Univ. Paris Diderot).



La technique du copier-coller génétique

Un complexe CRISPR-Cas9 est formé par l'association d'un brin d'ARN, dit ARN guide, et de la protéine Cas9, une enzyme capable de découper et d'exciser une chaîne ADN. Pour éditer l'ADN de manière ciblée, on crée un ARN guide dont la séquence est homologue à celle de l'ADN génomique que l'on veut exciser. Quand cet ARN va reconnaître l'ADN cible et s'apparier avec, Cas9 va alors couper et exciser cette séquence ADN spécifique. On peut ainsi non seulement neutraliser n'importe quel gène défectueux, en éliminant simplement la séquence ADN qui lui correspond, mais aussi lui substituer un ou plusieurs gènes en comblant le trou laissé par CRISPR-Cas9 par de l'ADN étranger.

© G. ELAM/ISPL/COSMOS

également le Réseau d'études fonctionnelles chez les organismes modèles (Efor), qui s'appuie entre autres sur l'édition du génome pour construire la carte génétique et phénotypique de nombreux modèles animaux et végétaux.

Dresser la carte d'identité des maladies cérébrales

Tumeurs cérébrales, étude du développement des neurones, autisme... En coupant de simples fragments d'ADN, il devient possible d'établir le profil génétique d'un nombre immense de maladies mentales. D'autant plus qu'elles sont souvent multigéniques. Pour l'autisme, par exemple, plus de 300 variations génétiques ont déjà été identifiées. Seulement, elles ne s'expriment pas toutes de la même façon au niveau des différents neurones. Avec CRISPR-Cas9, il devient possible d'étudier localement ces expressions génétiques. D'ailleurs, les gènes codants pour une protéine ne sont pas les seules parties de l'ADN impliquées dans le développement de troubles. Entre ces parties, il existe des séquences d'ADN régulatrices, que l'on a considérées pendant longtemps comme des déchets génétiques. Or ces parties non codantes jouent en réalité un rôle essentiel dans de nombreuses pathologies. À l'avenir, CRISPR-Cas9 pourrait servir à mieux caractériser le rôle encore largement méconnu de ces fragments.

Si CRISPR-Cas9 constitue une avancée révolutionnaire, d'autres techniques d'édition du génome existaient déjà. Frédéric Causeret, chercheur en neurosciences³, les utilisait auparavant sur ses souris, pour étudier notamment leur développement cérébral. Pourtant, il envisage désormais d'avoir recours à CRISPR-Cas9 dans les mois qui viennent. « Pour modifier le génome de la souris, nous

disposons de la recombinaison homologe. Mais le CRISPR est nettement plus rapide ! », précise-t-il.

Alors qu'avec l'ancienne technique il faut près d'un an pour obtenir une souris avec la mutation souhaitée, le CRISPR permet d'obtenir ces modifications en deux mois à peine. Et à moindre coût ! La manipulation revient au total à quelques milliers d'euros, alors que certaines souris mutantes valent parfois jusqu'à 50 000 euros. « La technique est très simple à mettre en œuvre, elle nous épargne certaines étapes fastidieuses », explique Frédéric Causeret.

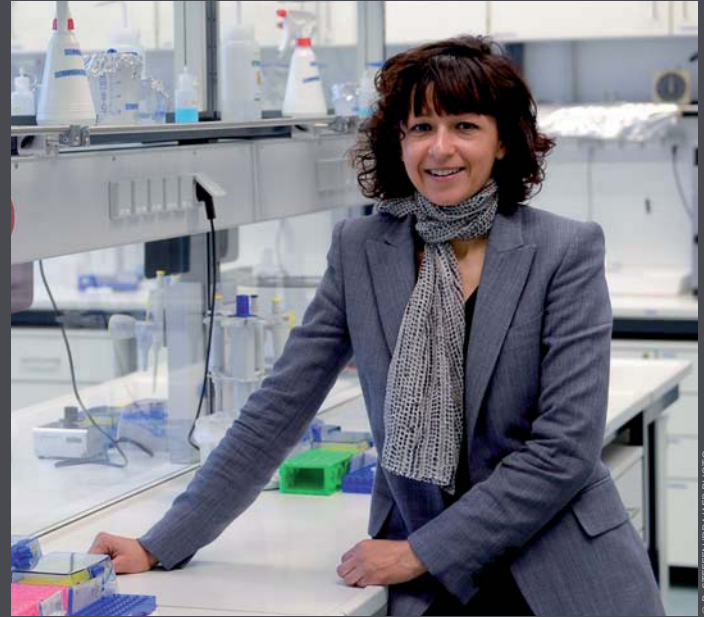
Le CRISPR-Cas9 suscite les rêves les plus fous, notamment parce qu'il permet de supprimer et de remplacer plusieurs gènes en même temps, contrairement aux autres techniques d'édition génétique. « On va pouvoir générer des modèles de pathologies mentales multigéniques de manière simple et rapide », prédit le chercheur. Certaines recherches utilisant CRISPR-Cas9 sont même parvenues à moduler l'expression d'un gène donné, sans avoir à l'éditer lui-même.

L'édition du génome pour tous !

« Le CRISPR ne va pas changer nos routines, mais nous ouvre des perspectives que l'on n'envisageait même pas car elles nécessitaient beaucoup trop de temps », indique Frédéric Causeret. La technique permet en effet de générer des pertes de fonction génétique extrêmement rapides, sur de nombreuses lignées, ou encore de tracer n'importe quelle protéine dans le cerveau. Pour Jean-Stéphane Joly, cette avancée va révolutionner la biologie ; à l'instar de la méthode d'amplification génique PCR, qui a révolutionné la biologie moléculaire et l'analyse génomique il y a une ...



© N. OTTO/THE WASHINGTON POST/GETTY IMAGES



© P. STEFFEN/DP/AFIP PHOTO

C'est après avoir découvert comment combiner l'action de la protéine Cas9 avec un ARN guide que l'Américaine Jennifer Doudna (à gauche) et la Française Emmanuelle Charpentier (à droite) ont mis au point en 2012 l'outil d'édition génétique CRISPR-Cas9.

... trentaine d'années. « *Le CRISPR-Cas9, c'est l'iPhone de la biotechnologie* », sourit le chercheur, précisant que l'on verra certainement apparaître dans les années à venir des centaines de nouveaux brevets.

Alors qu'il y a quelques années, l'édition génomique n'était disponible que pour les souris, le CRISPR-Cas9 permet désormais d'éditer le génome de tous les êtres vivants : poisson zèbre, primate, insectes sociaux... Si les recherches se multiplient, leurs résultats ne sont pour l'instant pas extrapolables à l'homme.

Quels freins à l'application humaine ?

Envisager une application thérapeutique avec le CRISPR-Cas9 pose en premier lieu la question de l'administration. Si, *in vitro*, il suffit d'injecter le mélange dans le noyau, *in vivo*, la tâche reste ardue. En particulier, la question de

sa délivrance jusqu'au cerveau. « *Chez la souris, nous transférons in utero le matériel génétique dans l'embryon par la méthode dite d'électroporation* », explique Frédéric Causeret. Mais cette méthode semble difficilement applicable à l'homme. La voie d'entrée des CRISPR pourrait donc se faire grâce à un vecteur viral, à l'instar des thérapies géniques classiques. Enfin, l'inoculation du matériel génétique pourrait aussi avoir lieu après le stade embryonnaire. « *Dans le cadre de certaines maladies neuro-dégénératives par exemple, on pourrait envisager une édition du génome chez l'adulte avant l'apparition des premiers symptômes* », imagine Frédéric Causeret.

Néanmoins, pour ces applications humaines, les problèmes éthiques et de sécurité prédominent. Les risques que les CRISPR manquent leur cible sont faibles, mais existent. « *Il suffirait que le CRISPR-Cas9 modifie une séquence qui ressemble beaucoup à celle que l'on cible pour déclencher une catastrophe. Comme si, par erreur, il découpait un gène suppresseur de tumeur par exemple* », précise le chercheur.

Agronomie, écologie, neurologie... Les applications des CRISPR semblent sans limites. « *Certains imaginent utiliser l'édition génomique pour rendre le moustique stérile et ainsi éradiquer le paludisme. Ou même empêcher les pommes de terre de noircir !* », explique Jean-Stéphane Joly, ajoutant qu'il faudra strictement contrôler ces modifications génétiques et leur effet sur l'environnement. Une chose est sûre, le CRISPR-Cas9 est loin d'avoir dévoilé toute l'étendue de ses applications. « *À l'évidence, les découvertes sur la réécriture du génome méritent le prix Nobel !* », assure même Jean-Stéphane Joly. ▀

“*Pour certaines maladies neurodégénératives, on pourrait envisager une édition du génome chez l'adulte avant l'apparition des premiers symptômes.*”

Une technique qui fait débat

Parce qu'ils mettent la manipulation génétique à la portée de presque tout le monde, les nouveaux outils d'ingénierie génomique soulèvent des questionnements éthiques et législatifs complexes.

Peut-on toucher au génome humain ? La question ne cesse d'être posée depuis les années 1990 avec l'arrivée des thérapies géniques. Pourtant, elle est en passe de prendre aujourd'hui une dimension totalement nouvelle, avec l'émergence, en 2013, de l'édition génomique. Les outils TALEN¹, ZFN² et bien sûr CRISPR-Cas9 permettent de couper, à la base près, des séquences d'ADN choisies. Grâce à cette chirurgie du génome, il devient possible d'inactiver ou de supprimer n'importe quel gène, voire de le remplacer par un autre.

Parmi ces trois outils d'ingénierie génomique, CRISPR est roi. Alors que les TALENs et les ZFNs font intervenir une protéine reconnaissant l'ADN à couper, CRISPR, lui, identifie directement l'ADN, grâce à un ARN guide. À titre d'exemple, il faut plusieurs mois pour développer une ZFN spécifique à un gène, contre quelques heures pour un CRISPR... « *C'est beaucoup plus simple ! Il suffit de synthétiser un ARN complémentaire à l'ADN que l'on souhaite cibler, c'est facile à obtenir et à utiliser* », précise Carine Giovannangeli, directrice de recherche en biologie moléculaire au laboratoire Structure et instabilité des génomes³.

Une technique au succès fulgurant

Plus précis, plus rapides et surtout moins chers que les thérapies géniques classiques, les CRISPR se sont répandus comme une traînée de poudre dans les laboratoires du monde entier. « *Désormais, les chercheurs utilisent presque exclusivement le système CRISPR-Cas9* », précise Carine Giovannangeli, qui développe des outils d'ingénierie génomique au sein de l'équipe TACGENE. En à peine deux ans d'existence, les CRISPR comptabilisent déjà un millier d'études publiées. Et des millions d'euros investis dans des start-up ou des projets de recherche. « *La technique va plus vite que la recherche fondamentale* », ajoute Patrick Gaudray, directeur de recherche en génomique ...

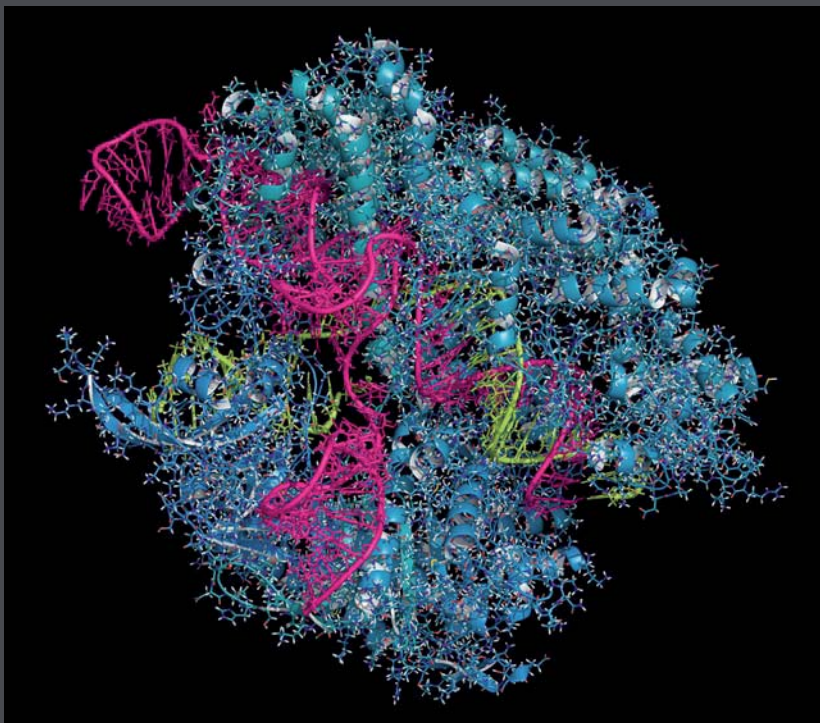
1. Transcription activator-like effector nuclease. 2. Zinc-finger nuclease.
3. Unité CNRS/Inserm/MNHN.



© L. FELICIANO/LA SUITE POUR CNRS LE JOURNAL



Représentation moléculaire du complexe CRISPR-Cas9 provenant d'une bactérie *Streptococcus pyogenes*.



© MOLEKULUBE - FOTOLIA



... au sein de l'unité Génétique, immunothérapie, chimie et cancer⁴ et membre, de 2008 à 2016, du Comité consultatif national d'éthique.

En avril 2015, la question cesse d'être théorique avec la publication d'une étude chinoise expérimentale. Les chercheurs ont utilisé ces ciseaux moléculaires pour modifier l'ADN d'embryons humains atteints d'une maladie monogénique : la bêta-thalassémie. Dès lors, impossible d'ignorer les interrogations éthiques soulevées par l'ingénierie du génome. A-t-on le droit de modifier le génome d'embryons humains et ainsi celui de générations futures ? Comment contrôler ces nouveaux organismes génétiquement modifiés par cette technique ? Autant de questions auxquelles la société civile et le monde de la recherche vont devoir répondre rapidement. « *Il n'y a pas que l'aspect bénéfico-risque qui compte, il faut aussi voir ce qui est compatible avec les valeurs sociales sur lesquelles est fondée notre société* », indique Anne Cambon-Thomsen, médecin, directrice de recherche émérite⁵ et experte auprès du comité d'éthique du CNRS. Elle préside également la Société française de génétique humaine, société qui a mis en place un groupe de réflexion interdisciplinaire sur ces questions.

Fondamentalement, l'ingénierie génomique ne pose aucune question nouvelle par rapport la thérapie génique, qui consiste à introduire un gène « médicament » dans un organisme. Et pourtant : « *CRISPR permet un véritable saut technologique, un changement d'échelle. Parce qu'il est simple et peu cher, il ouvre à tous des*

capacités encore inexplorées », ajoute Anne Cambon-Thomsen, qui analyse les enjeux sociétaux des biotechnologies appliquées à la santé. « *CRISPR fait un peu caisse de résonance. Mais, en fin de compte, il n'existe pas de rupture quant aux possibilités d'applications thérapeutiques* », précise Patrick Gaudray.

Crispations autour de la modification d'embryons

Les inquiétudes médiatiques et sociétales autour des CRISPR se cristallisent principalement sur la modification d'embryons humains et la transmission à la descendance, « *car c'est irréversible* », souligne Anne Cambon-Thomsen. En mai dernier, un sondage commandé par l'association conservatrice et anti-avortement Alliance Vita présentait 76 % des Français comme défavorables à cette modification génétique. « *Mais on n'a pas attendu CRISPR pour se poser ces questions* », informe Patrick Gaudray. Et effet, en la matière, les règles sont claires depuis une vingtaine d'années. En 1997, la France signe, avec 28 autres pays, la convention d'Oviedo, ratifiée en 2011. Celle-ci interdit, entre autres, de pratiquer des modifications génétiques transmissibles à la descendance. Actuellement, les thérapies géniques, tout comme les CRISPR, ne peuvent être utilisées que pour une application thérapeutique sur les cellules somatiques, du foie ou des muscles par exemple.

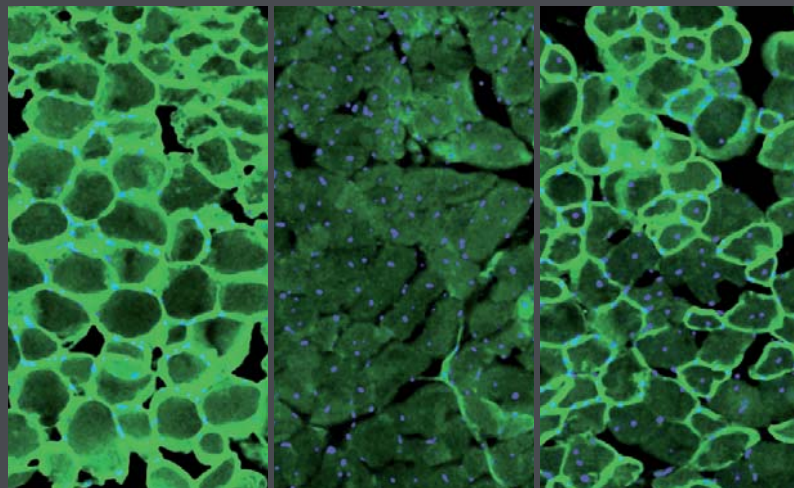
« *On nage dans les ambiguïtés* », souligne Patrick Gaudray. Alors que les chercheurs ont la possibilité d'utiliser des CRISPR pour provoquer des mutations dans les cellules germinales comme les spermatozoïdes ou les

4. Unité CNRS/Univ. François-Rabelais Tours. 5. Unité Épidémiologie et analyses en santé publique (Inserm/UPS).



En avril 2015, le biologiste chinois Huang Junju a suscité l'émotion en réalisant la première modification génétique d'embryon humain à l'aide de la technique CRISPR-Cas9.

© LU HANMIN/HUA-REA



Muscle cardiaque de souris, chez un animal sain (à gauche), chez une souris atteinte de myopathie (au centre) et chez une souris malade, mais dont le gène défectueux a été édité par CRISPR-Cas9 (à droite).

© C. E. NELSON ET AL/SCIENCE

ovules, « ils n'ont pas le droit de fabriquer un embryon pour vérifier ce qu'ils ont fait », ajoute Anne Cambon-Thomsen. La recherche utilise en général des embryons issus de projets parentaux abandonnés. « En éthique, il faut savoir s'adapter. Il pourrait être envisageable de reposer la question de la modification génétique des embryons dans un but thérapeutique, ou au moins d'envisager quelques exceptions », suggère le médecin. Une chose est sûre : les applications thérapeutiques des CRISPR soulèvent d'immenses espoirs. « Les patients poussent pour qu'on les utilise, car ils sont motivés par le bénéfice possible sur leur maladie », indique Anne Cambon-Thomsen.

Un procédé sûr et efficace ?

L'édition génomique est en passe de bouleverser le monde de la santé, et de nombreuses applications thérapeutiques sont en cours de développement. En particulier contre les maladies dont les gènes sont bien identifiés, comme la myopathie de Duchenne. Cette dystrophie musculaire est en effet liée à une anomalie du gène DMD. En décembre dernier, plusieurs équipes de recherche ont démontré, dans *Science*, qu'il était possible, chez la souris, d'introduire un CRISPR dans le muscle pour venir modifier le gène déclenchant de la maladie. Résultats : les souris retrouvaient de la force musculaire ! VIH, leucémie ou encore mucoviscidose, les CRISPR sont expérimentés sur de nombreuses autres maladies.

Il reste cependant une poignée d'obstacles techniques à franchir avant d'envisager la commercialisation de traitements chez l'homme. Les CRISPR peuvent par exemple manquer leur cible et couper un autre gène que

celui désiré. Cependant, ces effets dits « off-target » deviennent de mieux en mieux prévisibles informatiquement. « Des outils bio-informatiques sont disponibles aujourd'hui pour identifier les séquences qui ressemblent beaucoup à la cible et pour prédire, limiter, voire éviter, ces cassures indésirables. De plus, des améliorations du système CRISPR-Cas9 ont permis récemment de diminuer fortement ces effets hors cible », explique Carine Giovannangeli. Si, en recherche fondamentale, les effets off-target ne présentent finalement que peu de risque, en clinique, les enjeux sont tout autres... Que faire si, au lieu de supprimer un gène « malade », le traitement élimine un gène indispensable au fonctionnement du système ...

“Il n’y a pas que l’aspect bénéfico-risque qui compte, il faut aussi voir ce qui est compatible avec les valeurs sociales sur lesquelles est fondée notre société.”



Manipuler l'évolution avec CRISPR-Cas9

Le moustique *Aedes aegypti* peut transmettre les virus de la dengue, du chikungunya et du zika.



© W. VOLCO/BRASIL PHOTO PRESS/AFIP PHOTO

L'une des applications de la technique CRISPR-Cas9 la plus puissante mais aussi la plus controversée est celle du *gene drive*. Celle-ci permet en effet de s'affranchir des lois de l'hérédité mendélienne en forçant la propagation d'une mutation dans une population : alors qu'un parent transmet normalement la moitié de ses gènes à son enfant, et n'a donc qu'une chance sur deux de transmettre une mutation donnée, avec le *gene drive*, il transmet cette mutation à tous

les coups. On peut ainsi transformer en quelques générations les espèces sauvages : par exemple en introduisant chez le moustique *Aedes* une mutation lui conférant une résistance au parasite de la dengue.

... immunitaire par exemple ? « La sécurité doit être assurée, mais ce n'est sans doute qu'une question de temps avant d'y arriver », ajoute Patrick Gaudray. Depuis 2013, des protéines Cas9 de plus en plus performantes et spécifiques sont régulièrement mises sur le marché.

« Une autre question à régler, en particulier dans le cadre d'applications thérapeutiques, est celle de la délivrance du système CRISPR-Cas9. En général, on va cibler des organes que l'on sait atteindre, comme les yeux, le foie ou les muscles », précise Carine Giovannangeli. Il pourrait également être possible d'administrer ce bistouri génétique à l'aide d'un virus, ou directement en sortant les cellules de l'organisme pour les réimplanter une fois modifiées... Une utilisation sûre et efficace des CRISPR chez l'homme reste donc encore à développer. Par ailleurs, « il ne faut pas exagérer les conséquences que peuvent avoir les gènes sur certaines pathologies multifactorielles. Ce serait une dérive scientifiquement non justifiée qui pourrait être utilisée par des compagnies privées notamment pour faire du profit, sans résultats pertinents », met en garde Anne Cambon-Thomsen.

Le génome, un patrimoine sacré ?

En définitive, derrière la question de l'embryon humain se cache celle de la valeur qu'accorde notre société au génome. « Est-ce qu'on considère que le gène est une valeur en soi, sacrée ?, s'interroge Anne Cambon-Thomsen. Dans ce cas, on n'y touche pas. » Sur ce point, deux camps s'opposent. D'un côté, pour une majorité, le

génomique doit être considéré comme le fruit d'un héritage commun à préserver. Ce patrimoine, résultat d'années d'évolution humaine, ne doit donc en aucun cas être corrompu par l'intervention d'outils biotechnologiques dont nous contrôlons encore mal la portée. D'un autre côté, les partisans de l'homme augmenté considèrent que la nature a parfois besoin d'un coup de pouce pour supprimer ou corriger ses imperfections.

Cette approche transhumaniste recèle cependant des dérives potentiellement graves. « Le risque serait ensuite de vouloir modifier des gènes qui codent pour un trait n'ayant rien à voir avec une maladie, comme la couleur des yeux », avertit Anne Cambon-Thomsen. Les CRISPR deviendraient alors des outils privilégiés d'une forme d'eugénisme, allant à l'encontre des principes fondamentaux de justice et d'égalité entre les hommes.

Des outils capables de détruire une espèce

Selon Patrick Gaudray, la question cruciale autour des CRISPR reste celle des applications non humaines. « Nous avons désormais des outils à portée de main qui permettraient de faire disparaître une espèce », souligne-t-il, faisant référence à une expérience de 2015 qui avait rendu stérile le moustique tigre, à l'aide des CRISPR, pour limiter la transmission de la dengue. « L'éradication du moustique est une réalité totalement envisageable aujourd'hui ! Les approches techno-centrées sont-elles justifiées, sachant qu'on affecte de manière irréversible la biodiversité ? », s'interroge le chercheur. Cette vision utilitariste est, en tout cas, déjà de mise aux États-Unis, où la Food and Drug Administration a autorisé la commercialisation de champignons de Paris modifiés, via des CRISPR, pour ne jamais noircir. A-t-on réellement besoin de modifier durablement ces organismes vivants dans un tel but ?

Comme toute découverte révolutionnaire, les CRISPR brassent derrière eux leur lot de polémiques, à commencer par la question de la propriété intellectuelle. D'un côté, les chercheuses Jennifer Doudna et Emmanuelle Charpentier revendiquent depuis 2012 la paternité de la découverte du mécanisme spécifique de CRISPR-Cas9. De l'autre, une seconde demande de brevet, déposée par Feng Zhang, a été déposée en 2013, briguant l'application des CRISPR sur les cellules mammifères. « Mais, derrière ces figures médiatiques, il ne faut pas oublier toute la démarche scientifique en amont impliquant des chercheurs de tous horizons », rappelle Patrick Gaudray. Depuis 2013, une dizaine d'entreprises spécialisées dans les CRISPR ont été créées.

OGM ? Thérapie innovante ? La définition des objets issus des CRISPR n'est pas encore établie. Seule certitude : « Les grandes entreprises vont breveter à tout-va

le moindre gène modifié, sans que cela ne leur coûte beaucoup d'argent », indique Patrick Gaudray. Les CRISPR amplifient ainsi le débat sur la brevetabilité du vivant. « Est-ce qu'un agriculteur devra payer une firme s'il voit la mutation apparaître spontanément dans son champ ? », ironise Patrick Gaudray. Si le débat éthique est indispensable, il pâtit de pressions industrielles conséquentes. « La pression induite par la peur de perdre des parts de marché ne doit pas être un obstacle à l'évaluation éthique des applications de la méthode », écrit ainsi l'Inserm dans une saisine sur la question.

« Nous sommes face à un modèle économique et social dans lequel les décisions sont prises en majorité par les lobbies qui ne représentent pas la société dans son ensemble », déplore Patrick Gaudray, encourageant à « un vrai débat de société intelligent autour de l'ingénierie du génome, qui intègre scientifiques, société civile, citoyens, mais sans oppositions de principe ». Des groupes de travail dirigés par deux sociétés savantes⁶ ont d'ailleurs été formés dans ce but. Carine Giovannangeli évoque, quant à elle, la mise en place d'« un cahier des charges et de standards à adapter en fonction des applications ». Concernant les CRISPR, la décision finale sera, dans tous les cas, tranchée au niveau législatif. ■

“Il faut un vrai débat de société intelligent autour de l'ingénierie du génome, qui intègre scientifiques, société civile, citoyens, mais sans oppositions de principe.”



1



© PHOTOS : P. BOISSIERA, PÉLITIER/ONF/IFRGP



2

Dans le ventre de la Fournaise

TERRE ●

Volcanologie. L'Observatoire volcanologique du Piton de la Fournaise (OVPF), sur l'île de La Réunion, permet de mieux comprendre le fonctionnement de l'un des volcans les plus actifs au monde.

TEXTE AUDREY DIGUET

PHOTOS THIBAUT VERGOZ/UMS-IPGP/CNRS PHOTOOTHÈQUE ;
PATRICE BOISSIER/ALINE PELTIER/OVPF/IPGP

1. Culminant à 2 632 mètres d'altitude, le Piton de la Fournaise est l'un des volcans les plus auscultés au monde depuis la création de l'OVPF en 1979.

2. Sa dernière éruption a duré un peu plus de 24 heures, entre le 26 et le 27 mai derniers, alors que la moyenne habituelle des éruptions est d'une vingtaine de jours.



3



4

3. Deux à trois fois par an, les chercheurs survolent le volcan en hélicoptère, déposent et installent du matériel. Ici, ils apportent une dizaine de nouveaux sismomètres qui s'ajoutent aux 44 autres mesurant déjà les moindres soubresauts du volcan.

4. Le réseau de sismomètres assure le suivi de l'activité sismique du volcan ainsi que des éboulements qui ont lieu dans ses cratères.



5. Ces caméras filment ce qui se passe à l'intérieur du cratère, notamment les éboulements, et détectent aussi les débuts d'éruption. Celles installées au bord du grand cratère Dolomieu (350 mètres de profondeur et 1 kilomètre de diamètre), qui s'est effondré lors de l'éruption majeure de 2007, doivent ici être remplacées car elles ont été endommagées par un cyclone.



5

© PHOTOS : T. VERGOZ/UMS-IPG/CNRS PHOTO THÈQUE



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



6

6. À l'approche d'une éruption, les émissions de dioxyde de carbone augmentent. Andrea Di Muro, volcanologue géochimiste, traque ces émissions dans des zones où le magma s'est déjà frayé un chemin. Les mesures permettent d'anticiper les augmentations potentielles des volumes de lave émis et du niveau d'explosivité du volcan.



7

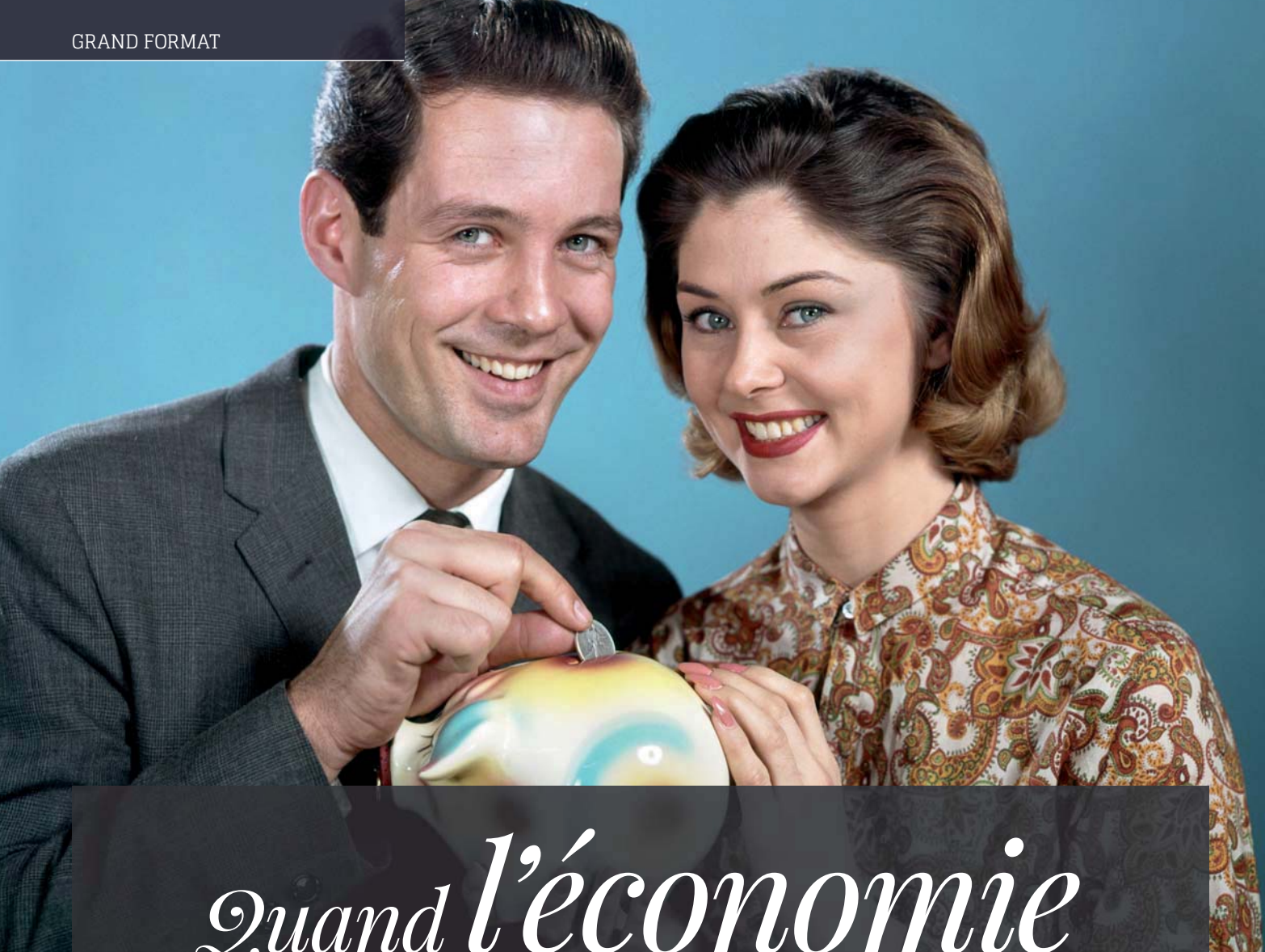
7. Des stations mesurent en permanence les émissions de dioxyde de soufre. Elles sont proportionnelles au débit du magma, ce qui permet de suivre l'évolution d'une éruption.



8. L'analyse des données en temps réel permet de déterminer où se produira l'intrusion du magma quelques dizaines de minutes avant l'éruption. Anticiper sa durée et le lieu où la lave va s'écouler sont les futurs défis de l'OVPF.



© PHOTOS : T. VERGOZ/UMS-IPGP/CNRS PHOTOGRAPHIE



Quand l'économie s'intéresse à nos comportements

UNE ENQUÊTE RÉALISÉE PAR CARINA LOUART ET CHARLINE ZEITOUN

© CLASSICSTOCK/MASTERRILE

SOCIÉTÉS

Aujourd'hui, les économistes ne recourent plus aux seuls modèles théoriques, ils les mettent à l'épreuve du réel dans des laboratoires d'économie expérimentale.

PAR CARINA LOUART

Comment tester en laboratoire les effets d'une hausse de la fiscalité ou d'une subvention écologique ? C'est l'une des questions qui mobilise, depuis une vingtaine d'années, les centres de recherche d'économie expérimentale. Car des politiques publiques qui seraient construites sur l'hypothèse que les individus sont exclusivement rationnels, égoïstes et utilitaristes manqueraient à coup sûr

leur cible. Différents biais comportementaux nous conduisent en effet parfois à prendre des décisions qui ne sont optimales ni pour nous ni pour l'intérêt général : les « biais émotionnels » (comme la jalousie ou l'envie), les « préférences sociales » (comme le goût pour l'équité) et les « biais cognitifs », qui font que nous avons par exemple du mal à nous projeter dans le futur et ainsi à épargner pour notre retraite. Ces biais ont été mis en évidence

grâce à l'expérimentation, en laboratoire ou sur le terrain. Afin d'introduire des enjeux monétaires, les participants à ces expériences reçoivent une rémunération qui varie en fonction de leurs décisions.

« *Un des buts*, explique Marc Willinger, directeur du Laboratoire d'économie expérimentale de Montpellier (Leem)¹, *est de tester différents modèles prédictifs et d'identifier les raisons qui conduisent les sujets participants à adopter un comportement autre que celui attendu. L'expérimentation permet de mettre en évidence que, selon le contexte et les individus, les incitations (gains ou sanctions) financières peuvent avoir un effet d'attraction ou au contraire d'éviction.* »

Tester les politiques publiques

Définir le bon dispositif à mettre en place pour orienter une politique ou des comportements est un des objectifs de la méthode. « *En laboratoire, on peut simuler différentes options de récompenses et de sanctions et jouer sur les incitations non monétaires comme les normes sociales, l'altruisme, la comparaison aux autres* », explique Marie-Claire Villeval², directrice du Groupe d'analyse et de théorie économique³ jusqu'en 2015 et directrice de la plateforme Gate-Lab, à Lyon. Avantage : son faible coût et sa reproductibilité à petite échelle sur le terrain ou sur des zones pilotes. Exemples : les expériences sur la fraude dans les transports en commun lyonnais. La chercheuse a montré que la tricherie mesurée en laboratoire auprès des usagers permettait de prédire le comportement de fraude de ces mêmes usagers dans les transports en commun. L'expérience a aussi pu établir que les contrôles systématiques et concentrés sur de petites périodes

s'avéraient moins efficaces que les contrôles inopinés et irréguliers. « *Parce que ce qui compte, précise-t-elle, c'est de créer chez le fraudeur un sentiment de forte incertitude.* »

Éviter de prochaines crises ?

Dans le même registre, la question de la prise de risque depuis la crise financière des subprimes et l'affaire Kerviel fait l'objet de nombreuses recherches. « *Penser que le marché*

le conduit à prendre des risques inconsidérés. Il surestime la qualité de l'information qu'il détient aux dépens des autres sources, ce qui amplifie encore le risque d'erreur, poursuit le chercheur. *Plus une personne est surconfiante, moins elle recourt aux outils d'aide à la décision. Ce biais se retrouve certainement dans de nombreuses professions. Il pourrait notamment être une source non négligeable d'erreurs médicales.* »

“*La surconfiance crée chez le trader un sentiment de contrôle absolu qui le conduit à prendre des risques inconsidérés.*”

Une approche peu utilisée

Tester des comportements difficilement observables sur le terrain par des enquêtes est un des grands atouts de cette méthode. Par exemple, lorsqu'un individu est sollicité pour contribuer au financement d'un service collectif dont il profitera, la théorie standard prédit qu'il ne paiera pas, espérant que les autres le fassent à sa place. Or les expériences ont montré que près de la moitié des individus accepte de contribuer.

« *Si ces comportements pro-sociaux ne sont plus à démontrer, les tests permettent de savoir dans quelles conditions les individus acceptent de contribuer au bien public et jusqu'à quel point !* », souligne Marc Willinger, qui a récemment expérimenté une nouvelle taxe écologique. On proposait aux volontaires un seuil de pollution ambiante à ne pas dépasser. S'ils le respectaient, ils en étaient collectivement exonérés, dans le cas contraire, ils devaient tous payer l'intégralité du dommage dû au dépassement. Les résultats ont montré que le seuil n'était jamais dépassé. Ce dispositif a été expérimenté avec succès chez des agriculteurs américains pour réduire l'usage des pesticides. « *Mais en France, déplore le chercheur, les pouvoirs publics préfèrent recourir aux modèles prédictifs classiques pour mettre en place les incitations.* » ...

s'autorégule et qu'on pourrait lui faire confiance est une illusion. Les expériences montrent que les comportements individuels et collectifs des traders jouent un rôle important dans la volatilité des marchés et l'apparition des bulles spéculatives, souligne Jean-Christophe Vergnaud, directeur de recherche au Centre d'économie de la Sorbonne⁴ et responsable administratif du Laboratoire d'économie expérimentale de Paris⁵. *Pour éviter que de telles crises se reproduisent, il ne suffit pas de surveiller le fonctionnement des marchés financiers, encore faut-il que les modèles classiques des marchés intègrent les biais cognitifs dont sont victimes les traders.* »

Parmi les plus répandus : celui de la confiance excessive en soi et en ses jugements. « *Elle crée chez le trader un sentiment de contrôle absolu qui biaise sa perception du danger et*

ÉCONOMIE EXPÉRIMENTALE

Méthode permettant de tester les modèles économiques classiques, en laboratoire, avec des participants.

1. Unité CNRS/Univ. de Montpellier/Inra/Montpellier SupAgro. 2. Fondatrice de l'Association française d'économie expérimentale Asfee. 3. Unité CNRS/UCBL/Univ. Lumière Lyon 2/Univ. Jean-Monet/ENS de Lyon. 4 et 5. Unité CNRS/Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

« Les salaires »

... Pour élaborer leurs politiques publiques, plusieurs pays anglo-saxons et européens utilisent aussi des « nudges » ou « coups de pouce », destinés à contrecarrer les biais. Le principe : orienter en douceur nos comportements en donnant des informations, en reformulant les recommandations, en proposant un choix par défaut ou encore en informant les gens sur ce que font leurs voisins dans une situation donnée. Utilisé dans les formulaires de dons d'organes de certains pays, qui affichent par défaut l'option « donneur », ce petit coup de pouce pousse par exemple les personnes à donner davantage leur accord, tout en gardant la possibilité de refuser.

Des dispositifs paternalistes ?

En France, l'utilisation des nudges reste marginale. En cause : une représentation encore faible de l'économie comportementale au sein des universités et de la recherche, mais aussi une méfiance vis-à-vis de ces dispositifs jugés « paternalistes » par certains. Ne portent-ils pas une vision infantilissante du consommateur ? Quid du risque de manipulation ? « *Les nudges ont montré leur efficacité et leurs faibles coûts, affirme Marie-Claire Villeval, mais leur utilisation nécessiterait un débat public et la mise en place de garde-fous pour s'assurer que leurs finalités soient toujours légitimes. Cela étant dit, rendre ainsi publics ces dispositifs pourrait d'emblée les rendre inopérants...* » ||

FAVORITISME INTRA-GROUPE
Conduite qui consiste à favoriser les membres de son groupe d'appartenance au détriment des membres qui n'y appartiennent pas.



© S. BOURLES / DIRT7

La discrimination à l'égard des femmes sur le marché du travail s'opère dès l'embauche. David Masclat explique ce résultat obtenu en économie expérimentale et revient sur le cercle vicieux du sexisme mis en place dès l'éducation.

PROPOS RECUEILLIS PAR CHARLINE ZEITOUN

Vous avez utilisé l'économie expérimentale pour étudier la discrimination à l'égard des femmes sur le marché du travail. La méthode permet de mettre à l'épreuve les modèles théoriques lors de jeux de simulation avec des participants. Qu'a apporté cette approche sur ce sujet ?

David Masclat¹ : D'abord, elle nous a permis d'observer qu'il existe bien un comportement de discrimination à l'égard des femmes lors du processus d'embauche². L'autre intérêt est de nous permettre d'étudier l'origine de cette discrimination pour laquelle deux grandes théories s'affrontent généralement. Soit on évoque un favoritisme intra-groupe qui pousse l'employeur à embaucher quelqu'un qui lui « ressemble ». Soit la discrimination est due au fait que, manquant d'informations fiables sur l'efficacité des candidats, les employeurs sont réduits à interpréter des signaux, le principal d'entre eux étant le niveau d'études. Problème : les employeurs cherchent souvent à interpréter d'autres paramètres, dont les individus ne sont en rien responsables, comme l'âge, le sexe, la couleur de peau, etc. Et ces interprétations sont influencées par des stéréotypes, comme celui d'une prétendue efficacité moindre chez les femmes. Or déterminer si c'est cette seconde théorie, dite discrimination statistique, ou la précédente, dite discrimination intra-groupe, qui est à l'œuvre

est impossible lorsqu'on travaille avec des données classiques d'enquête, issues de statistiques sur l'emploi ou bien de sondages.

Pourquoi les données classiques d'enquête ne permettent-elles



© D. ALLARD/REA



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

moindres des femmes?

C'est l'arbre qui cache la forêt! »

pas de déterminer l'origine de la discrimination ?

D. M. : Le processus d'embauche est une vraie boîte noire. Avec les statistiques, vous savez quels candidats ont été recrutés, mais pas ce qui s'est passé dans la tête des employeurs quand ils les ont choisis. Et, si on le leur demande lors de sondages, il y a peu de chances qu'ils disent la vérité s'ils pratiquent effectivement une quelconque discrimination... Tandis que, dans nos expériences, on peut observer en laboratoire les décisions des participants : ils doivent classer, du favori au moins apprécié, différents

candidats à recruter et qui leur sont présentés via des fiches comportant le niveau d'études, la discipline étudiée et un avatar qui permet de deviner le genre de la personne. La discrimina-

tion se manifeste lorsque, toute chose égale par ailleurs, et donc à niveau d'études identique, un participant classe moins bien une femme qu'un homme. Bien entendu, dans le panel de 144 personnes de nos expériences, les niveaux d'études et les disciplines étaient aussi homogènes chez les 72 femmes que chez les 72 hommes.

“Nous avons observé que les femmes discriminent les femmes autant que le font les hommes.”

Qu'est-ce qui permet d'affirmer que les participants sont plus sincères lors de vos expériences que lors de sondages ? Ils font des choix qui n'ont aucune conséquence pour eux puisque les candidats choisis ne deviennent pas réellement leurs employés...

D. M. : Non, leurs choix ont des conséquences ! Les participants « travaillent » réellement lors de l'expérience : une fois « recrutés », ils doivent résoudre des petits problèmes de logique, des jeux de décodage, etc., pour le compte de leur « employeur ». Et, en fonction de leurs performances, bien réelles, employeurs et employés sont plus ou moins rémunérés à l'issue de l'expérience. Cela pousse les participants à révéler leurs véritables choix, au lieu, pour certains, de se faire passer pour des personnes d'une éthique irréprochable. À condition de supposer, bien sûr, que les individus cherchent à maximiser leurs gains, ce qui paraît raisonnable dans une expérience qui se place dans le contexte du travail, de la performance et de l'entreprise.

Mais, vu les faibles sommes en jeu (les participants ont gagné une vingtaine d'euros en moyenne), on peut quand ...

Aubervilliers, Journée des droits des femmes, le 8 mars 2016.



tion se manifeste lorsque, toute chose égale par ailleurs, et donc à niveau d'études identique, un participant classe moins bien une femme qu'un homme. Bien entendu, dans le panel de 144 personnes de nos expériences, les niveaux d'études et les disciplines étaient aussi homogènes chez les 72 femmes que chez les 72 hommes.

Quels sont vos résultats ? Pourquoi les femmes sont-elles discriminées lors de l'embauche ?

D. M. : Dans nos expériences, la discrimination est essentiellement d'ordre statistique, c'est-à-dire due à un manque d'informations et fondée sur des préjugés. Car les « employeurs » qui discriminent les femmes lors de la première phase de l'expérience ne le font plus lorsque nous leur fournissons, lors d'une seconde phase, des informations sur l'efficacité au travail des candidats. La bonne nouvelle est donc que les employeurs, du moins ceux de notre panel, ne sont pas misogynes ! D'ailleurs, nous avons observé que les femmes discriminent les

1. Chercheur au Centre de recherche en économie et management (CNRS/Univ. Caen Normandie/Univ. de Rennes 1), médaille de bronze du CNRS en 2012.

2. Des travaux en économie expérimentale ont déjà mis en évidence une discrimination à l'embauche à l'égard des femmes et des personnes de couleur : David L. Dickinson & Ronald L. Oaxaca (2009) et Marco Castillo & Ragan Petrie (2010), aux États-Unis ; Magnus Rödin & Gülay Özcan (2011), en Suède.



Photo tirée d'une vidéo des magasins U qui proposent depuis quelques années un catalogue de jouets non sexistes. Les filles comme les garçons y jouent aussi bien avec des cuisinières et des aspirateurs qu'avec des grues de construction et des voitures.

... même douter de la fiabilité du procédé pour pousser les participants à être honnêtes.

D. M. : Vous avez raison, ces études en laboratoire ont des limites et elles restent des simulations. Mais elles constituent la meilleure façon de faire à ce jour pour inciter les gens à révéler leurs préférences. D'ailleurs, il y a un autre défaut dans la méthode : nos panels sont surtout composés d'étudiants. Or ce sont des personnes qui sont statistiquement plus éduquées que la moyenne des gens et moins enclines à discriminer les autres. Il est donc probable que les résultats de nos expériences sous-estiment le phénomène de discrimination à l'égard des femmes. Cela veut aussi dire que l'on se place dans l'une des pires situations pour observer quelque chose, et qu'on l'observe quand même ! C'est dire...

Mais, s'il y a discrimination à l'égard des femmes à l'embauche, comment se fait-il que leur taux de chômage en France (environ 10 %) soit équivalent à celui des hommes ?

D. M. : Parce qu'il faut plutôt prendre en compte le taux d'emploi : pour les 15-64 ans, il est de 60,2 % pour les femmes contre 68,1 % pour les hommes. Il faut aussi se pencher sur d'autres réalités : ce sont les femmes qui occupent en majorité les emplois à temps partiel³. Or ce « choix » est bien souvent contraint, lié au poids

des normes et aux différences de salaires entre femmes et hommes⁴ : ces deux paramètres poussent en effet les mères, et non les pères, à passer à temps partiel pour s'occuper des enfants, tout en minimisant la perte de revenu du couple. Enfin, l'éducation joue aussi un rôle dans le cercle vicieux de la discrimination sexuelle. Une étude⁵ a montré que, sans le savoir, les professeurs favorisent plus l'esprit de compétition chez les garçons que chez les filles. Cela accentue le biais de

“En amont des écarts de salaires, ce qui se joue durant l'éducation puis le recrutement est capital.”

surconfiance de ces derniers et prépare les futures inégalités professionnelles. Sans parler des normes de nos sociétés en général, hors scolarité, qui pèsent déjà lourd (publicité, jouets, etc.). Le choix de la filière d'études, et notamment la moindre représentation des filles dans les filières scientifiques – réputées d'excellence – en sont certainement des conséquences directes. Les filles « intériorisent » ces discriminations dictées par nos sociétés depuis l'enfance. Il ne semble pas étonnant qu'au final

ce soit aussi les femmes qui occupent en majorité les emplois les plus précaires. On parle beaucoup des écarts de salaire entre femmes et hommes, mais c'est l'arbre qui cache la forêt ! Tout ce qui se passe en amont, dans l'éducation, l'acquisition des compétences, puis dans le processus de recrutement, est capital.

Vos résultats ont-ils des répercussions concrètes dans l'aide à la décision auprès des élus et des dirigeants ? Je pense notamment aux ABCD de l'égalité, qui furent la cible de rumeurs d'une violence inouïe. Vos travaux avaient-ils inspiré cette démarche de lutte contre le sexisme à l'école ?

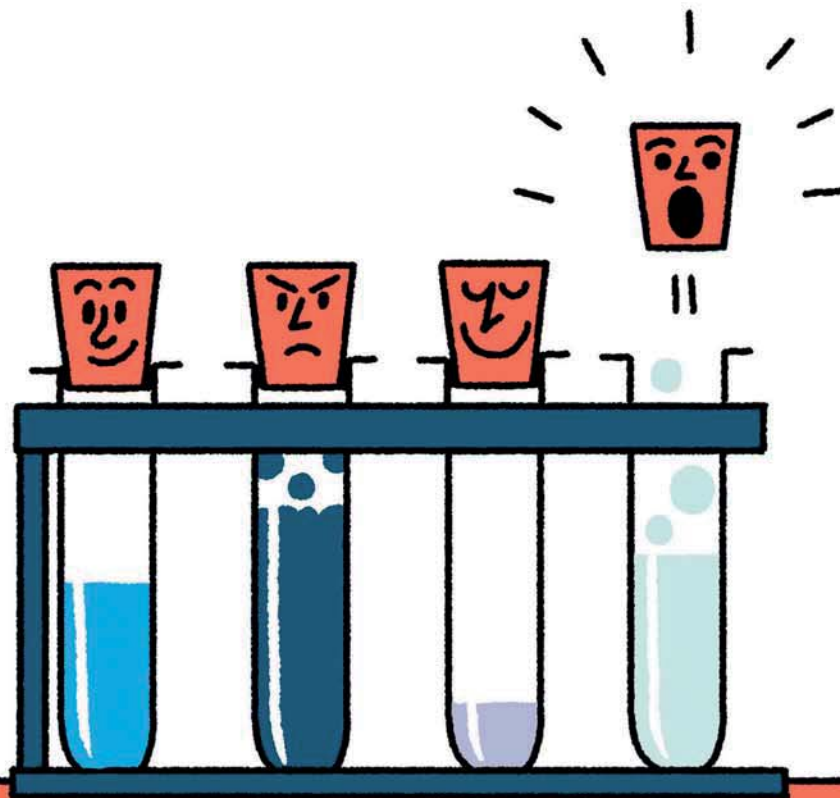
D. M. : Tout ce que je sais, c'est que notre article de 2012 sur ces questions de discrimination femmes-hommes à l'embauche a été lu par des parlementaires et est cité dans un rapport d'information de l'Assemblée nationale du 24 avril 2013. On ne peut pas encore parler d'une réelle aide à la décision, mais nos travaux proposent au moins des bases solides pour parler de ce sujet, notamment via les médias. Vous savez, la médiation contribue parfois très vite à améliorer les choses : une étude américaine⁶ de 2002 avait montré qu'au basket les joueurs noirs étaient sanctionnés par les arbitres plus souvent que les joueurs blancs. Cinq ans plus tard, ces résultats ont fait l'objet d'une importante couverture médiatique, ce qui a entraîné la disparition presque totale de cette discrimination. ■



Lire la suite de l'interview sur lejournal.cnrs.fr

3. Selon le Centre d'observation de la société, 30% des femmes occupent un temps partiel, contre 6,7% des hommes. 4. L'écart de salaire femmes-hommes est d'environ 20 points. Si l'on ramène les chiffres à des « équivalent temps plein » et à « métier équivalent », un écart inexpliqué d'environ 10 points persiste et relèverait d'une discrimination « pure » selon l'Observatoire des inégalités (20 mai 2015). 5. Duru-Bellat et Mingat (1993). 6. Price et Wolfers (2002).

EN ACTION



*On se penche sur le système de notation
à l'école, on enquête sur les poumons
de nos cellules et on découvre
de nouveaux talents chez Néandertal.*

Comment mieux évaluer le travail des élèves ?

SOCIÉTÉS

Éducation. Des chercheurs testent actuellement dans 70 collèges et lycées une alternative au système traditionnel de notation : l'évaluation par compétences. Zoom sur leurs premiers résultats.

PAR PHILIPPE TESTARD-VAILLANT

La nouvelle a fait les titres de la presse au printemps : une étude scientifique préconiserait l'abandon des notes à l'école. Dans un pays attaché de longue date à la notation de 0 à 20, l'annonce a aussitôt fait l'objet de débats aussi intenses que... prématurés. En effet, les résultats ne sont que les tout premiers d'une expérience en cours, menée depuis la rentrée 2014 dans 70 collèges et lycées de l'académie d'Orléans-Tours. Cette étude ambitieuse livrera ses réelles conclusions en 2018. Il n'en reste pas moins qu'elle interroge déjà l'évaluation du travail scolaire telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui. « *Notre but n'est pas de faire disparaître la note, mais d'en promouvoir un usage raisonné pour renforcer la qualité des apprentissages*, précise d'emblée Alain Diger, doyen des inspecteurs pédagogiques de l'académie et instigateur de cette expérimentation. *La manière dont l'évaluation est pratiquée aujourd'hui est excessivement centrée sur une notation systématique et, à ce titre, archaïque.* »

De fait, nombre de travaux montrent que la notation chiffrée pêche par sa subjectivité, la valeur d'un 15 variant par exemple d'un enseignant à l'autre dans n'importe quelle discipline. Autre biais majeur : la notation, en plus d'être anxiogène, n'est guère informative. « *Une note sert davantage aux élèves à se situer les uns par rapport aux autres qu'à identifier les points sur lesquels ils doivent concentrer leurs efforts*, explique Alain Diger. *Par ailleurs, en exacerbant la compétition, la note véhicule son lot de vainqueurs mais aussi de vaincus. Elle amplifie les inégalités scolaires et renforce le déterminisme social, des effets délétères dont le système éducatif français souffre exagérément.* »

Les effets positifs de l'évaluation par compétences

D'où l'idée de tester un nouveau type d'évaluation et de confier la supervision d'une partie de cette expérience à des chercheurs en psychologie. Conduite auprès d'un échantillon de 1 627 élèves de troisième et centrée sur trois disciplines (français, histoire-géographie, mathématiques), l'étude pilotée par Pascal Huguet et Céline Darnon, du Laboratoire de psychologie sociale et cognitive¹, et Isabelle Régner, du Laboratoire de psychologie cognitive², fait la part belle à l'évaluation par compétences.

Le principe est de « *pointer les acquis des élèves et de focaliser leur attention sur les connaissances qu'il leur reste à acquérir*, informe Isabelle Régner. *Cela les amène à délaisser les stratégies d'apprentissage de surface (recours au par cœur, centration sur les contenus les plus importants en vue d'un examen...) au profit de stratégies de profondeur (recherche d'informations complémentaires, point de vue*

1. Unité CNRS/Univ. Blaise Pascal. 2. Unité CNRS/Aix-Marseille Univ.



© R. DAMORET/REA

▼ Certains établissements scolaires expérimentent les fiches individuelles d'acquisition des compétences comme alternative au système traditionnel de notation.

© R. DAMORET/REA

critique sur le contenu des cours...»). La note, elle, est réduite à la portion congrue. Et celle qui figure dans le bulletin à la fin de chaque trimestre n'est plus une moyenne, mais un indicateur calculé au vu des compétences acquises.

Les premiers résultats de l'étude permettent de dégager quelques conclusions. Dont ce constat : l'évaluation par compétences produit des effets positifs en mathématiques, où les élèves cherchent moins à se comparer. Autre effet avéré dans cette discipline : l'écart entre élèves de milieux favorisés et défavorisés a fondu de moitié. « C'est assez phénoménal quand on sait qu'aucune réforme du système éducatif depuis trente ans n'est parvenue à un tel résultat, commente Pascal Huguet. L'évaluation par compétences semble à même d'aider l'ascenseur social à redémarrer », sachant que la France est le pays où l'influence de l'origine sociale des élèves sur leurs performances est la plus marquée.

Le procédé exerce en outre une influence bénéfique sur tous les élèves. Autrement dit, il n'entraîne pas les meilleurs vers le bas. En revanche, son efficacité est moins nette en histoire-géographie et indétectable en français, pour des raisons qui restent à élucider. « Le retrait, voire la suppression des notes, ne signifie pas la fin de l'évaluation, insiste Céline Darnon. C'est même presque l'inverse. Cette méthode, qui se traduit souvent par un surcroît de travail pour les enseignants et exige qu'ils développent une culture d'échange, génère une évaluation bien plus informative pour l'élève. »

Reste que les premières conclusions des chercheurs demandent à être confirmées. L'expérience menée dans l'académie d'Orléans-Tours n'est que le premier étage d'une fusée dont la mission se poursuivra jusqu'en 2017. L'année



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

scolaire 2014-2015 a été « une année pilote, dit Pascal Huguet. Cette phase 1, avec son lot d'imperfections liées notamment au manque de formation de certains professeurs à l'évaluation par compétences, nous a permis d'engranger 800 000 données, mais peu de certitudes ».

L'année scolaire 2015-2016 a été celle de la maturation. L'occasion pour les enseignants d'histoire-géographie et de français impliqués dans l'étude d'imaginer de nouvelles pratiques en phase avec les exigences de l'évaluation par compétences. « Nous voulions homogénéiser la population enseignante, explique Isabelle Régner. C'est pourquoi nous avons laissé les professeurs les moins expérimentés se familiariser avec cette alternative à la note. À la rentrée prochaine, nous réactiverons le dispositif méthodologique que nous aurons entre-temps perfectionné. »

Rendez-vous en 2018 pour les résultats définitifs

Une fois l'expérience achevée en 2017, les chercheurs seront en mesure de savoir si l'évaluation par compétences offre à davantage d'élèves la possibilité de progresser. Ils espèrent aussi établir l'impact de ce mode d'évaluation sur des compétences transversales (maîtrise de l'oral, capacité à s'intégrer dans un travail collectif, conduite de projet...). Viendra enfin l'heure de publier, sans doute fin 2018. L'ambition des chercheurs, sur ce plan, est double. D'une part, rendre compte de leur expérimentation dans une revue faisant autorité, telle que le *Journal of Educational Psychology*, et apporter ainsi une « touche française » à un débat qui a cours en ce moment en Europe et dans le monde. D'autre part, rédiger un rapport à destination des acteurs du terrain (ministère, corps d'inspection, chefs d'établissement, professeurs...). Ce document explicitera la méthodologie employée et détaillera les résultats d'une manière plus abordable qu'un article destiné à une publication scientifique.

Par ailleurs, l'évaluation par compétences devrait croiser à brève échéance la route des nouvelles technologies. « La révolution numérique a commencé à traverser l'école, souligne Pascal Huguet. Demain, la pédagogie sera massivement assistée par des machines qui délivreront non pas des notes, mais des évaluations-diagnostic extrêmement fines et recentreront l'élève sur certains apprentissages. Dans ce nouveau paysage scolaire, les professeurs seront toujours indispensables car ce sont eux qui auront, entre autres, à concevoir les contenus des ressources mises en ligne. Mais ce jour-là, la note appartiendra à la Préhistoire... »

“La note amplifie les inégalités scolaires et renforce le déterminisme social.”



Un simulateur virtuel pour les équipes d'urgence

NUMÉRIQUE

Intelligence artificielle. Pour mieux former les personnels médicaux aux situations de crise, des chercheurs ont mis au point un simulateur intelligent.

PAR GRÉGORY FLÉCHET



► Aperçu de l'environnement du futur simulateur, dont le développement a été confié à la société Reviatech.

Les attentats du 13 novembre 2015 l'ont rappelé de la plus triste des manières : face à ce type d'attaque, les secouristes peuvent se sentir désemparés. C'est pour les aider à affronter de telles atrocités qu'un groupe de chercheurs travaille sur le projet de simulateur Victteams¹. « Notre objectif est de définir un environnement virtuel pour la formation des équipes médicales chargées d'organiser les secours après un afflux massif de victimes », résume Domitile Lourdeaux², coordonnatrice du projet. Les secouristes français participent régulièrement à des exercices, mais ceux-ci prennent rarement en compte « l'aspect relationnel de la gestion d'équipe, qui s'avère souvent essentiel lors d'une intervention dans un contexte de crise », souligne la chercheuse. Les membres de Victteams s'appuient sur l'expérience de la brigade des sapeurs-pompiers de Paris et des médecins militaires du Val-de-Grâce : incendies, attaques de convois militaires, attentats, etc. Ils mettent par ailleurs à profit les connaissances du Limsi³ sur le fonctionnement

psychologique de l'être humain et celles de l'Institut de recherche biomédicale des armées dans le domaine du développement des compétences professionnelles.

Un environnement virtuel à visage humain

Les chercheurs vont ensuite devoir traduire ces données en langage informatique. Un travail fastidieux qu'ils ont découpé en différents modules. Certains concernent des modèles qui décrivent l'activité de chaque personnel soignant. D'autres s'attellent à déterminer des compétences telles que le leadership ou la coopération. Les conséquences du stress sur les capacités cognitives font aussi partie des paramètres à coder. L'ensemble des modules servira à animer des personnages qui évolueront dans le simulateur. Ces avatars, dont la modélisation est confiée à Reviatech et au List-CEA, endosseront le rôle des personnels soignants mais aussi des patients. « Les personnages de notre simulateur devront faire preuve d'une grande autonomie en prenant des décisions au cours de la simulation », précise Nicolas Sabouret, du Limsi, chargé de leur mise au point. C'est en cela que

Victteams se démarque des autres simulateurs.

Une version test déjà disponible

Enfin, les personnages seront incorporés dans un environnement qui reproduira un poste de secours en 3D. Muni d'un casque de réalité virtuelle, un médecin ou un infirmier pourra interagir avec des blessés et des personnels soignants virtuels. Pour le premier démonstrateur, opérationnel depuis le mois de juin, les chercheurs se sont focalisés sur un patient blessé par balle. Au fil des mois, les avatars gagneront en autonomie et en complexité. En parallèle, le nombre de patients à prendre en charge et la diversité des blessures augmenteront. « Nous avons prévu de mettre sur pied trois démonstrateurs avant que le simulateur définitif ne voie le jour », précise Nicolas Sabouret. Une fois finalisé, celui-ci sera doté d'un moteur de scénarisation. Il sera alors possible d'adapter la complexité et le niveau de stress des situations d'urgence aux compétences de chaque utilisateur. ||

1. Agents virtuels émotionnels, adaptatifs et sociaux pour la formation d'équipes. Cofinancé par l'ANR et la DGA, ce projet s'achèvera en 2019. Il bénéficie du soutien de la Région Picardie, du Feder et du Labex MS2T. 2. Chercheuse au laboratoire Heuristique et diagnostic des systèmes complexes (CNRS/UTC). 3. Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur du CNRS.

Ces entreprises qui misent sur la recherche

Stratégie. Une enquête inédite vient de lever le voile sur les structures communes de recherche entre le CNRS et les entreprises.

PAR VÉRONIQUE MEDER



Développées massivement depuis les années 1980, les structures communes de recherche CNRS-entreprise se distinguent des partenariats traditionnels par leur programme de recherche qui dépasse le simple projet à court terme et comprend des objectifs régulièrement actualisés », annonçait Nicolas Castoldi, délégué général à la valorisation du CNRS, le 14 juin dernier, en préambule d'une matinée consacrée à ces outils. Mais, jusqu'à récemment, ces structures n'avaient fait l'objet d'aucun suivi particulier. Le CNRS a donc lancé début 2016 la première enquête nationale sur le sujet. Et les chiffres recueillis sont éloquentes : ces structures sont au nombre de 126, et les différents indicateurs soulignent leur grande efficacité.

Plusieurs structures possibles

Derrière cette appellation se cachent pourtant des réalités très différentes. Se confondant avec une unité mixte classique, l'unité mixte de recherche CNRS-entreprise dispose de locaux identifiés et partagés et s'instaure par convention pour une durée de cinq ans. Établi par convention reconductible d'au moins quatre ans, le laboratoire commun représente une forme plus souple de partenariat, qui ne requiert pas nécessairement de locaux ou d'équipe permanente. Articulé autour d'une gouvernance et d'un programme de recherche communs, il comprend également des règles de valorisation des recherches et un partage de la propriété intellectuelle. « Ces structures ne reposent pas sur une forme dogmatique. La démarche y est féconde : secteur par secteur, discipline par discipline, des relations

durables se construisent », complète Nicolas Castoldi.

Qu'elles soient opérées avec une PME ou une entreprise nationale, ces structures représentent une des formes les plus abouties de partenariat. « Ce qui nous anime, c'est la confiance entre nos équipes et l'envie de travailler ensemble », commente Jean-Paul Chabard, directeur scientifique EDF R & D, au sujet des 16 laboratoires communs EDF, dont deux tiers créés avec le CNRS. Pour Guillaume Saint-Girons, directeur du laboratoire commun entre la société Riber, leader mondial de la fabrication de réacteurs d'épitaxie par jets moléculaires, et l'Institut des nanotechnologies de Lyon¹, le partenariat coulait de source. « L'Institut

des nanotechnologies de Lyon était un client de Riber, explique-t-il. À force de nous côtoyer, nous avons mis en place une collaboration avec un échange de bons procédés. »

Et les bénéficiaires sont réciproques. « Grâce aux synergies avec les chercheurs académiques, de nouveaux thèmes de recherche ont vu le jour chez Thales », indique Frédéric Nguyen Van Dau, directeur de l'unité mixte de physique CNRS/Thales². Anca Melania Stratulat, ingénieure de recherche chez

Groupe PSA, et Bernard Sahut, responsable du réseau Stellab³, l'attestent : « Le partenariat noué avec les laboratoires du CNRS nous a permis de mieux structurer notre recherche et d'élargir le champ de nos applications, comme le véhicule autonome ou le confort dans l'habitacle. »

Attirer les talents

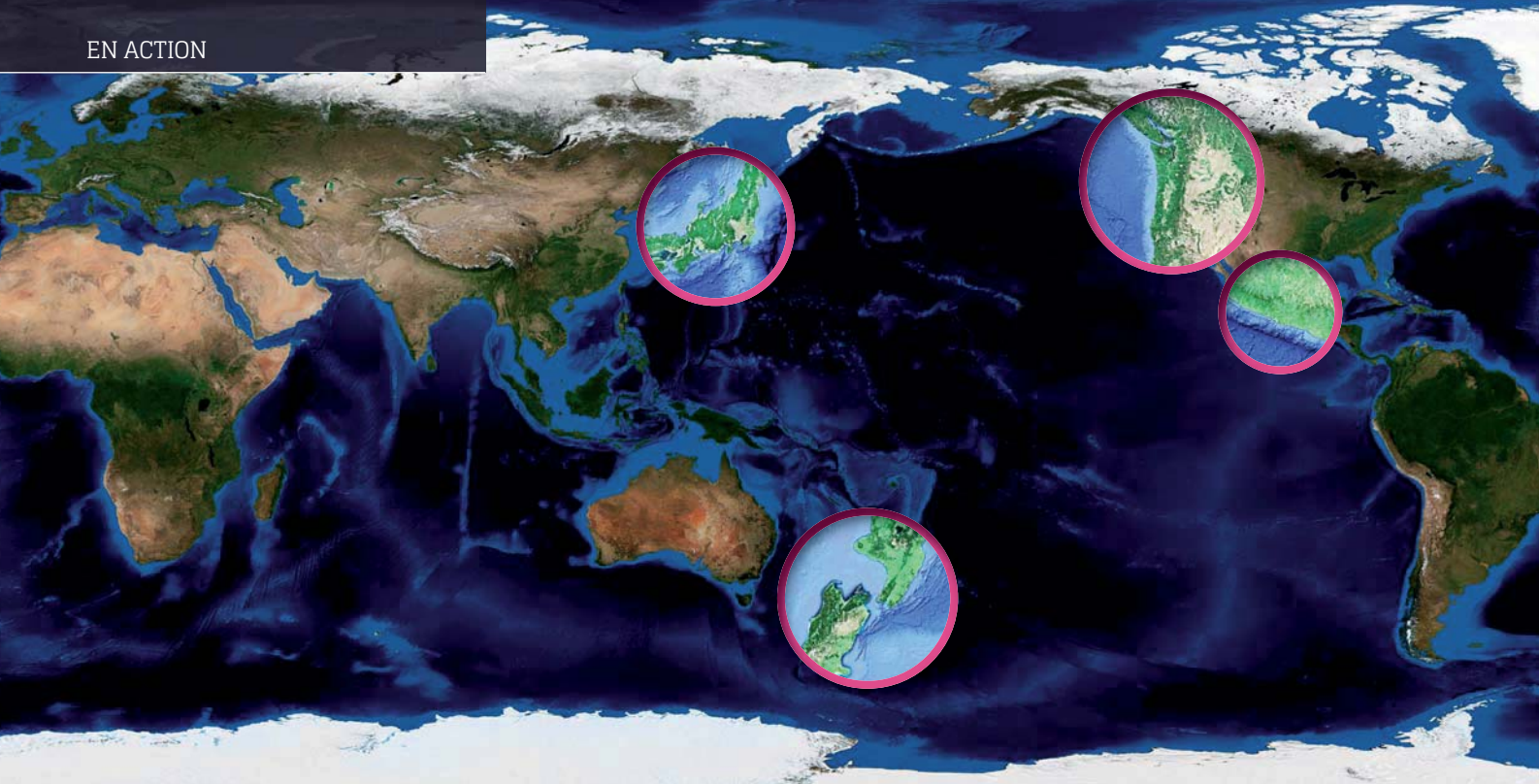
Pierre Guillot, directeur du Laboratoire du futur⁴, souligne que ce type de structure commune est « un moyen d'attirer des talents souhaitant développer leurs recherches sur des thématiques pertinentes pour l'industrie. C'est aussi un lieu de formation pour de jeunes chercheurs, capables d'y monter en compétences, et, pour des chercheurs de Solvay, une façon de se confronter à la recherche académique ».

La matinée du 14 juin a démontré qu'il n'y a pas de fossé entre le monde académique et le monde industriel. « À nous de travailler pour faire connaître davantage la diversité de ces partenariats auprès de nos laboratoires et les accompagner dans la création de nouvelles structures », conclut Nicolas Castoldi. Et atteindre l'objectif raisonnable de progression de 25 % d'ici à deux ans. ||



Lire l'intégralité de l'article sur www.cnrs.fr/cnrsinnovation-lalettre/actus.php?numero=365

1. Unité CNRS/Centrale Lyon/CPE Lyon/Insa Lyon/UCBL. 2. Unité CNRS/Thales/Univ. Paris-Sud. 3. Réseau international des partenariats scientifiques de Groupe PSA. 4. Unité CNRS/Solvay.



► Des dizaines de séismes lents ont déjà été détectés au Japon, en Nouvelle-Zélande, au Canada ou encore au Mexique.

Séismes lents : un autre regard sur les failles

PAR LAURE CAILLOCE

TERRE ●

Sismologie. Inconnus il y a quinze ans, les séismes lents, désormais identifiés un peu partout sur la planète, pourraient aider à mieux cartographier le risque sismique.

Pendant longtemps, les sismologues ont cru qu'il existait deux échelles de temps sismique : le temps (très) long de la déformation des plaques continentales, pendant lequel l'énergie sismique s'accumule, et le temps court du séisme, qui relâche en quelques secondes toute l'énergie stockée pendant des centaines, voire des milliers d'années... « *L'observation des premiers séismes lents, il y a quinze ans, a complètement bousculé cette vision des choses*, raconte Michel Campillo, sismologue à l'Institut des sciences de la Terre¹. *On sait désormais qu'il existe des phénomènes transitoires, qui peuvent durer plusieurs semaines ou mois et qui se produisent sans secousses perceptibles.* » Une discrétion qui explique pourquoi ils étaient passés complètement inaperçus jusque-là...

Environ 80 % des plus gros séismes de la planète, de magnitude supérieure à 6, se produisent au niveau des zones de subduction, dans la zone limite où les plaques

océaniques plongent sous les plaques continentales voisines. Deux cas de figure sont alors possibles : soit la plaque océanique coulisse sous la plaque continentale, soit elle « accroche » contre cette dernière, provoquant sa lente déformation et l'accumulation de l'énergie qui sera relâchée lors du prochain séisme. C'est dans ces zones de subduction qu'ont été observés tous les séismes lents jusqu'à ce jour.

Des mesures GPS enregistrées en continu

« *Les premiers séismes lents ont été repérés en 2001 dans la chaîne des Cascades, au Canada*, raconte Nikolai Shapiro, de l'Institut de physique du globe de Paris². *Puis on en a observé au Japon, en Nouvelle-Zélande, au Costa Rica et au Mexique.* » Leur régularité n'a de cesse de troubler les spécialistes : « *Dans les Cascades, ces séismes durent quinze jours et se répètent tous les quatorze mois en moyenne ; au Mexique, où la plaque océanique converge à grande vitesse vers la plaque continentale, ils durent six mois et se produisent tous les quatre ans* », détaille Nikolai Shapiro.

1. Unité CNRS/Univ. Grenoble Alpes/Univ. Savoie Mont Blanc/IRD/Irfsttar. 2. Unité CNRS/USPC.

“Dans les Cascades, au Canada, les séismes lents durent quinze jours et se répètent tous les quatorze mois en moyenne.”

C'est grâce aux progrès des mesures GPS qu'on a pu les identifier. « Les positions relevées sont devenues tellement précises, à quelques millimètres près, qu'elles permettent désormais de faire des enregistrements en continu », explique Frédérique Rolandone, spécialiste de la géodésie à l'Institut des sciences de la Terre de Paris. Des réseaux de stations GPS ont donc été déployés pour enregistrer les mouvements des plaques à proximité des zones de subduction. « Au Japon, pays le mieux appareillé à ce jour, on compte un millier de ces stations, généralement espacées de 10 à 20 kilomètres », indique la chercheuse.

Le principe de ces « profilages » GPS : si toutes les stations à la surface de la plaque continentale se déplacent à la même vitesse et dans la même direction que la plaque océanique qui plonge vers le manteau, alors il n'y a pas de déformation ; en revanche, si on constate des différences de vitesse entre stations, alors il y a déformation et, donc, augmentation des contraintes exercées sur la plaque continentale. « Là où cela devient intéressant, c'est que le sens dans lequel les stations se déplacent s'inverse durant les quelques poignées de seconde que dure un séisme », explique Nikolai Shapiro. Comme un élastique qu'on lâche après l'avoir tendu et qui part soudain dans l'autre sens. C'est en observant sur les relevés GPS des changements de direction de plusieurs semaines qu'on s'est douté qu'on avait affaire à un nouveau phénomène : les fameux séismes lents. »

Des effets incertains sur le risque sismique

S'ils sont lents et indolores pour les populations qui vivent à proximité, ces séismes ne sont pas négligeables. La quantité d'énergie qu'ils libèrent n'a en effet rien à envier à celle des gros séismes : les plus forts enregistrés équivalent à des tremblements de terre de magnitude 7,5 sur l'échelle de Richter, soit plus que le dernier séisme en Haïti (7,3), qui a fait 200 000 morts et des dégâts considérables.

Les scientifiques restent néanmoins partagés quant aux conséquences de ces phénomènes sur le risque sismique de la zone concernée : est-ce que les séismes lents fonctionnent comme la soupape d'une Cocotte-Minute et éloignent, en relâchant un peu de pression, la survenue d'un « vrai » séisme dévastateur ? Ou, au contraire, est-ce qu'ils ajoutent au risque sismique en accentuant les déformations sur les segments de la faille tout proches ? « À Guerrero, près d'Acapulco, les séismes lents se produisent dans une “lacune sismique”, un endroit où aucun tremblement de terre n'a été enregistré depuis plus d'un siècle, et ce alors que toute la zone de subduction le long du Mexique est régulièrement

secouée, indique Nikolai Shapiro. Aujourd'hui, personne ne peut dire si cette absence d'activité est due aux séismes lents, ou si la survenue du prochain tremblement de terre n'est juste qu'une question de temps ! »

« Quand on aura compris toutes les implications de ces glissements lents, on pourra produire des bilans énergétiques beaucoup plus précis sur chaque segment de faille, et donc mieux évaluer le risque sismique à moyen terme, espère Frédérique Rolandone. Mais il reste beaucoup de travail d'observation à faire... » Le catalogue des séismes lents enregistrés à ce jour est en effet trop court pour tirer des conclusions définitives. Pour l'étoffer, il faudrait pouvoir déployer des réseaux de capteurs à proximité de toutes les failles de subduction – ce qui est encore loin d'être le cas. « En Équateur, une cinquantaine de stations GPS récemment installées ont permis d'observer les premiers séismes lents en 2010 », témoigne Frédérique Rolandone.

Autre enjeu pour les scientifiques : mettre en place des mesures dans les zones maritimes, grâce à l'installation de GPS « fond de mer ». Certaines zones de subduction se situent en effet très au large des terres touchées par les séismes, ce qui rend l'estimation des déformations plus difficile : c'est le cas au Japon, mais aussi aux Antilles, où la faille se trouve à plus de 200 kilomètres des côtes. « En théorie, les ondes électromagnétiques envoyées par le satellite aux stations GPS ne traversent pas l'eau », explique Michel Campillo. Mais de nouveaux équipements contournent la difficulté en couplant des émetteurs acoustiques posés au fond de la mer avec des bateaux équipés de GPS en surface. Certes, les relevés ne se font pas en continu, comme avec les stations GPS terrestres, mais ils devraient permettre d'affiner considérablement notre connaissance de ces phénomènes lents. » Déjà installés au large du Japon, des équipements de ce type seront déployés dès cet été le long des côtes mexicaines... De quoi percer, peut-être, le mystère de la « lacune » de Guerrero. ■

GÉODÉSIE

Science qui mesure la surface terrestre, calcule les distances entre différents points sur la Terre et les mouvements de la croûte terrestre.

▲ En Équateur, grâce à une cinquantaine de stations GPS permanentes, les sismologues peuvent détecter la survenue des séismes lents.



© F. ROLANDONE

En Europe, les chercheurs soignent leur réseau

International. Depuis quarante-cinq ans, Cost aide les chercheurs d'une trentaine de pays européens à travailler main dans la main en finançant rencontres, missions scientifiques et stages de formation.

PAR LÉA GALANOPOULO

L'objectif de Cost est simple : « Encourager les relations humaines dans la recherche », explique Monica Dietl, directrice de l'European Cooperation in Science and Technology (Cost). Depuis sa création, cette organisation intergouvernementale financée par la Commission européenne a pour ambition de mettre en réseau les chercheurs européens. En pratique, elle encourage les scientifiques de tous horizons à se réunir autour d'un projet commun. Réunions, stages de formation, voyages... « Nous prenons en charge tout ce qui permet aux chercheurs de se rencontrer pour travailler ensemble », précise Monica Dietl.

Réunir les communautés

En 2014, Sophie Jarriault, chef d'équipe à l'Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire¹ fait ainsi appel à Cost pour mettre en place un réseau autour d'un animal : le ver *C. elegans*, utilisé comme modèle dans de nombreux domaines comme la neurologie ou l'étude du développement. « Notre constat était que la communauté européenne *C. elegans* était très dispersée et sans plateforme d'échange », explique la chercheuse. Pour réunir les scientifiques autour du ver, Cost a financé des rencontres, une école d'été, un congrès européen, etc. « En commençant, nous pensions rassembler entre 20 et 30 groupes. Nous sommes aujourd'hui 118 groupes, soit plusieurs centaines de chercheurs ! », se réjouit Sophie Jarriault.

1. Unité CNRS/Inserm/Univ. de Strasbourg.



© ILLUSTRATION: PINTACHANVA/SUITE POUR CNRS JOURNAL

Créé en 1971 à l'initiative de 19 pays membres, Cost regroupe aujourd'hui 36 États et dépasse largement les frontières de l'Union européenne. « Plus de 45 000 chercheurs sont intégrés dans nos réseaux », s'enthousiasme Monica Dietl. En tout, entre 50 et 60 projets sont acceptés chaque année et financés pendant quatre ans. « Notre budget annuel est de 42 millions d'euros, mais nous ne finançons pas du tout la recherche, les infrastructures ou le matériel », précise la directrice de Cost.

Tous les domaines concernés

Sciences humaines et sociales, ingénierie ou encore urbanisme, les actions menées par Cost sont ouvertes à tous les domaines. En 2015, les

projets allaient par exemple d'une analyse sur la théorie du complot initiée par des chercheurs allemands à la mise en place de réseaux 5G proposée par une équipe espagnole. « Nous intégrons aussi des experts techniques ou industriels qui interviennent dans les projets », souligne Monica Dietl. La moitié de nos projets sont transdisciplinaires et ils regroupent facilement une centaine de chercheurs et d'experts. »

Et les retours sont enthousiastes. « Les réseaux permettent d'établir des relations humaines de confiance, qui perdurent dans le temps », poursuit Monica Dietl. Et participer à un projet Cost peut être un véritable tremplin, en particulier pour les

Brèves

jeunes chercheurs. En effet, cette participation apporte une visibilité et une crédibilité à long terme, particulièrement pour la recherche de financement auprès du programme-cadre Horizon 2020.

La candidature à une action Cost reste toutefois sélective. Lorsqu'une équipe dépose un projet, elle doit être associée à au moins quatre autres pays membres, « *mais, en général, il est facile de regrouper rapidement une vingtaine de pays différents* », assure Monica Dietl. Une fois sa valeur scientifique évaluée, le projet est examiné par un panel d'experts composé sur mesure, puis par le comité scientifique de Cost.

Réduire les inégalités

Géré directement par les ministres concernés de chaque pays, Cost ambitionne depuis plusieurs années de réduire les inégalités entre chercheurs en Europe. « *Nous souhaitons intégrer tout le monde, en particulier les chercheurs de pays isolés comme les pays de l'Est* », indique la directrice du programme. Si l'Allemagne, la

Grande-Bretagne ou l'Espagne font partie des pays qui dirigent le plus de projets Cost, la France reste en retrait. « *Sur 530 candidatures reçues cette année, seules 27 étaient menées par des Français* », déplore Monica Dietl. Pourtant, les chercheurs français collaborent à une grande majorité des projets. « *Je souhaite les encourager à tenter leur chance*, conclut Monica Dietl. *Il n'y a rien à perdre à candidater à Cost, tout à gagner!* »

➤ www.cost.eu

Tara, opération corail

Le 28 mai dernier, la goélette Tara a quitté Lorient pour un voyage de 100 000 kilomètres à travers le Pacifique. Son objectif est d'étudier durant deux ans les récifs coralliens, qui ne couvrent que 0,2 % du plancher océanique, mais qui abritent près de 30 % de la biodiversité marine. Les coraux sont aujourd'hui gravement menacés, notamment par le réchauffement global, principal responsable de leur blanchissement. En collectant quelque 40 000 échantillons puis en les analysant grâce à diverses méthodes telles que l'analyse microbiologique ou l'analyse métagénomique, Tara Pacific réalisera la première étude multidisciplinaire tenant compte à la fois de la biodiversité du microbiote corallien et de la biodiversité environnante, ainsi que de leur évolution au cours du temps.



© TARA EXPÉDITIONS

➤ L'expédition est à suivre sur
 ➤ <https://lejournal.cnrs.fr/nos-blogs/tara-operation-corail>
 ➤ <http://oceans.taraexpeditions.org>

My CoRe et My Com, des outils numériques pour les agents du CNRS

Depuis la fin 2015, un nouvel outil proposé par la Direction des systèmes d'information permet de sauvegarder ses fichiers et de les partager en toute sécurité. My CoRe offre en effet la possibilité à chacun de stocker gratuitement jusqu'à 20 gigas de données, de faire une sauvegarde de son poste de travail ou encore de synchroniser ses fichiers sur son smartphone, sa tablette et ses autres ordinateurs. My CoRe permet en outre de partager facilement et en toute sécurité des fichiers volumineux en envoyant simplement un lien. Un autre service, My Com, est également mis à la disposition de l'ensemble des personnels des unités de recherche et des services administratifs. Gratuit et sécurisé, il peut notamment être utilisé pour des visioconférences, le partage d'écran ou encore comme messagerie instantanée. Cet outil – en quelque sorte le « Skype » du CNRS – est adapté aux supports mobiles (smartphone et tablette).

➤ Informations et installation sur le site de l'offre de services aux unités (ODS)
 ➤ <http://ods.cnrs.fr/>

LISA Pathfinder annonce eLISA

Alors que les interféromètres terrestres de la collaboration LIGO-Virgo ont déjà détecté le passage de deux, voire trois, vagues d'ondes gravitationnelles (lire p. 46), le succès de la mission européenne LISA Pathfinder, annoncé en juin, vient de démontrer la faisabilité de l'interféromètre spatial eLISA, qui devrait être lancé dans une dizaine d'années. Cette fois, ce n'est plus une fenêtre mais une baie vitrée qui s'ouvre sur le cosmos et ses origines.



© ESA/ATG MEDIALAB

➤ À lire, l'analyse du physicien Éric Plagnol
 ➤ <https://lejournal.cnrs.fr/billets/une-baie-vitree-sur-lunivers>

Les nouveaux défis de la spintronique

Moins de dix ans ont été nécessaires entre la démonstration par Albert Fert et Peter Grünberg de l'effet emblématique de la spintronique, la magnéto-résistance géante, et la commercialisation des premiers disques durs utilisant cette propriété par IBM en 1997. Voilà qui illustre l'évolution fulgurante de la spintronique depuis vingt ans. La spintronique est le mariage de l'électronique, qui utilise la charge électrique des électrons

pour transmettre de l'information, et du spin, une autre propriété intrinsèque des électrons. Le spin est une caractéristique microscopique purement quantique, qui n'a pas d'équivalent à notre échelle. Mais on peut se représenter un électron comme un petit aimant pouvant prendre seulement deux orientations : un spin « vers le haut » ou un spin « vers le bas ».

« Cette propriété était connue depuis les débuts de la physique quantique, mais il n'y avait pas eu d'idée pour l'utiliser en électronique », souligne Yannick Dappe, chercheur au Service de physique de l'état condensé¹ du CEA Saclay. Dans les années 1960-1970, des théories sont élaborées pour décrire comment les courants de spins se déplacent dans les matériaux magnétiques. Dans les années 1980, le développement des nanotechnologies permet de créer

des matériaux possédant les couches d'une épaisseur de seulement quelques nanomètres qui sont nécessaires à l'exploitation du spin des électrons.

Multiplier par mille la densité de stockage

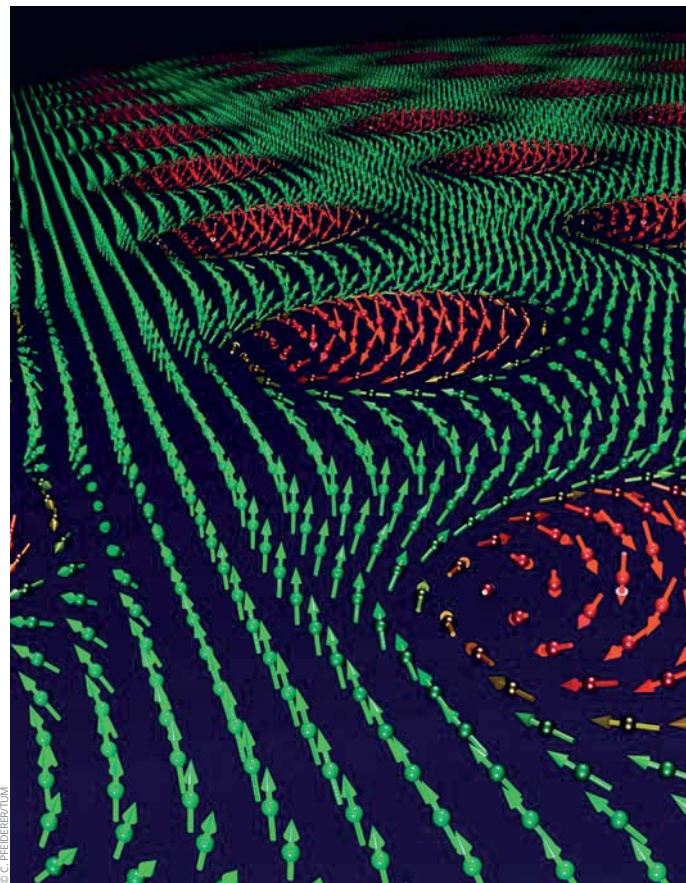
C'est dans de telles structures, composées d'une couche d'un métal normal en sandwich entre deux couches de métal ferromagnétique, que l'effet de magnéto-résistance géante est observé. Dans ces matériaux, les électrons ne rencontrent pas la même résistance en fonction de leur spin. Quand les aimantations des deux couches ferromagnétiques sont parallèles, les électrons qui se propagent bien dans l'une se propagent bien dans l'autre : la résistance globale est faible. Au contraire, si les aimantations des couches ferromagnétiques sont antiparallèles, les électrons qui se propagent bien dans l'une se propageront mal dans l'autre : la résistance globale sera forte. Cette différence de

résistance induite par un champ magnétique peut être très forte, d'où le nom de magnéto-résistance géante.

Cet effet est employé dans les têtes de lecture des disques durs, dont l'objectif est de lire l'orientation magnétique des domaines qui se présentent à la surface du disque et qui constituent les bits d'information. La sensibilité des têtes de lecture à magnéto-résistance géante permet d'augmenter la densité de stockage d'un facteur voisin de 1 000.

Des mémoires de plus en plus rapides

Si le disque dur reste la base de la mémoire de nos ordinateurs, il a l'inconvénient d'être lent d'accès. La mémoire vive de type RAM, très rapide, le supplée. Mais celle-ci est volatile : il faut lui fournir en permanence de l'énergie. La spintronique permet de réaliser des mémoires magnétiques ou MRAM, non volatiles, rapides et économes en électricité. Les jonctions tunnels magnétiques qui les composent sont également constituées de deux couches ferromagnétiques, séparées cette fois par une barrière isolante. L'effet de magnéto-résistance s'en trouve fortement augmenté.



© G. FÉREBERT/IBM

MATIÈRE NUMÉRIQUE

Électronique. Exploitant à la fois les propriétés électriques et magnétiques des électrons, la spintronique offre des pistes prometteuses pour le futur des technologies de l'information.

PAR SYLVAIN GUILBAUD



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

1. Unité CNRS/CEA. 2. Unité CNRS/Univ. de Strasbourg.

La première génération de ces composants est arrivée sur le marché en 2006, mais la densité de stockage n'était pas encore suffisante pour s'imposer dans les ordinateurs. « En revanche, les MRAM ont trouvé leur application dans l'avionique et le spatial, précise Albert Fert. Car, contrairement aux mémoires classiques, elles sont peu perturbées par les rayonnements dans la haute atmosphère. »

Le grand espoir vient de la nouvelle génération de MRAM développée actuellement. Elle intègre un autre effet majeur de la spintronique, le transfert de moment de spin. Celui-ci permet de renverser l'aimantation d'une couche, et donc d'écrire une information dans la mémoire grâce à un simple courant électrique plutôt qu'en appliquant un champ magnétique. « Ces mémoires s'implanteront vraisemblablement dans les ordinateurs d'ici quelques années et bouleverseront alors le paradigme actuel qui sépare, dans un ordinateur, mémoire vive et mémoire de stockage », annonce Martin Bowen, physicien à l'Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg².

Du stockage à la transmission de l'information

Au-delà de ces applications, la spintronique fait toujours l'objet de recherches dont le panorama s'est diversifié. D'une part, les chercheurs tentent d'aller toujours plus loin dans la spintronique classique, celle employée dans les dispositifs

à magnéto-résistance, qui consiste à placer différents matériaux sur le chemin des électrons pour influencer la circulation des spins. « Au lieu d'utiliser des couches de métal normal ou des barrières isolantes, on peut aussi tester d'autres matériaux, comme des assemblées de molécules, pour filtrer les électrons en fonction de leur spin », explique Yannick Dappe. C'est le principe de la spintronique moléculaire sur laquelle le chercheur effectue des travaux avec son collègue Alexander Smogunov. Des matériaux comme le graphène sont aussi très étudiés. Plutôt que de stocker l'information, la spintronique pourrait aussi aider à la transmettre. Pour cela, il faut développer des sources performantes de courants polarisés en spin. « Cela nécessite de bien comprendre comment des matériaux dissemblables tels qu'un métal ferromagnétique et des molécules partagent leur charge électronique lorsqu'ils forment une interface, détaille Martin Bowen. Un autre enjeu est de miniaturiser ces concepts à une nano-échelle, par exemple en utilisant les propriétés électroniques des défauts de structure, comme lorsque l'absence d'un atome crée une lacune. »

De nouvelles façons de manipuler les spins ont aussi émergé ces dernières années. L'une d'elle est la spin-orbitronique. L'idée est d'utiliser un effet relativiste, le couplage spin-orbite, très important dans les métaux lourds. Parmi les pistes ouvertes par ce domaine se trouve la possibilité de stocker et de transporter de l'information grâce aux skyrmions. « Ce sont des petits nœuds de spins avec lesquels on peut mémoriser une information. On peut ensuite déplacer ces skyrmions le long d'une piste jusqu'à un nanocapteur pour lire l'information codée dans un train de skyrmions », explique Albert Fert, dont l'équipe au sein de l'unité mixte CNRS/Thales se penche sur ce champ de recherche.

Alors que la fabrication des composants à base de semi-conducteurs commence à atteindre ses limites en termes de miniaturisation, la spintronique s'impose petit à petit comme une technologie complémentaire permettant de dépasser certaines de ces limites. Outre les nouveaux composants qu'elle propose, comme les MRAM, la spintronique pourrait participer à la définition de nouvelles architectures informatiques. L'électronique neuromorphique propose par exemple de s'inspirer du fonctionnement du cerveau, en particulier des synapses, qui se transforment en fonction de l'information qu'elles reçoivent. ||

“Les MRAM bouleverseront le paradigme actuel qui sépare mémoire vive et mémoire de stockage.”



► Réseau de structures magnétiques en vortex.

Ondes gravitationnelles et trous noirs, acte 2

PAR YAROSLAV PIGENET

UNIVERS

MATIÈRE

Événement. Moins de quatre mois après la première détection directe d'ondes gravitationnelles, une nouvelle fusion de trous noirs a été observée par la collaboration LIGO-Virgo.



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

Alors que physiciens et astronomes ont dû attendre près d'un siècle pour annoncer la première observation directe d'ondes gravitationnelles prédites par Einstein, quatre mois auront suffi aux deux interféromètres d'Advanced LIGO (aLIGO) pour repérer deux, voire trois, passages de ces perturbations du tissu de l'espace-temps ! Trois événements témoins de fusions de trous noirs, des corps célestes eux aussi prédits par la théorie de la relativité générale, mais qui n'avaient encore jamais été observés directement.

Et de trois coalescences !

« En termes de fréquence de détection, on est dans la fourchette haute des prédictions, se réjouit Benoît Mours, directeur de recherche au Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de physique des particules¹ et membre de la collaboration internationale LIGO-Virgo, et c'est

ce qui rend les choses très intéressantes. » Ces résultats, publiés le 15 juin dans *Physical Review Letters*², confirment en effet les performances des interféromètres d'aLIGO et fournissent les premières indications sur la nature et le nombre de trous noirs dans l'Univers et sur la fréquence de leurs collisions.

L'analyse des signaux captés entre le 12 septembre 2015 et le 19 janvier 2016 a ainsi permis de détecter trois événements gravitationnels notables. Le tout premier, observé le 15 septembre 2015, est attribué à la collision, à près de 1,5 milliard d'années-lumière de la Terre, de deux trous noirs d'une trentaine de masses solaires chacun. Le deuxième événement par son importance a été détecté le 26 décembre 2015. Il a aussi pour origine la collision, à une distance similaire, de deux trous noirs d'une dizaine de

masses solaires. Le troisième événement, enfin, observé le 12 octobre 2015 mais dont la significativité n'est pas suffisante pour être qualifié de découverte, pourrait correspondre à une collision de trous noirs situés à plus de 3 milliards d'années-lumière.

« D'autres analyses sont en cours, calibrées cette fois pour détecter des systèmes doubles contenant au moins une étoile à neutrons, précise Benoît Mours. Car, à la différence des événements n'impliquant que des trous noirs, une coalescence d'étoiles à neutrons s'accompagne d'une émission de matière et de lumière que nos télescopes pourront observer directement. Ce qui constituera une autre grande première ! » Il faut néanmoins rappeler que l'incertitude sur la localisation des sources d'ondes gravitationnelles détectées par aLIGO reste importante.

En attendant Virgo

La prochaine mise en service de la version avancée de l'interféromètre européen Virgo, dont les données seront combinées dès la fin 2016 avec celles d'aLIGO, va permettre d'accroître la résolution de cet observatoire gravitationnel. « Nous pourrons ainsi mieux mesurer la vitesse de rotation des trous noirs sur eux-mêmes, explique Benoît Mours. Et avoir plus d'informations sur leur histoire, par exemple pour déterminer s'ils proviennent de systèmes d'étoiles binaires ou d'astres à l'origine indépendants. »

Entre ces résultats et le succès de la mission LISA Pathfinder – qui rend possible le lancement du projet d'interféromètre eLISA –, l'avenir de l'astronomie gravitationnelle s'annonce décidément des plus radieux !

▲ Vue d'artiste de la fusion de deux trous noirs, événement à l'origine de l'émission d'ondes gravitationnelles.



1. Unité CNRS/Univ. Savoie Mont Blanc. 2. « GW151226 : observation of gravitational waves from a 22-solar-mass binary black hole coalescence », B. P. Abbott et al., *Physical Review Letters*, 15 juin 2016, vol. 116, 241103.



TERRE MATIÈRE

Bruniquel, la grotte qui bouleverse notre vision de Néandertal

Mesure du champ magnétique, opération de carottage, étude des structures composées de stalagmites, restitution en 3D... La grotte de Bruniquel a été passée au crible par les chercheurs.

Bien avant l'arrivée d'*Homo sapiens*, des humains occupaient déjà des grottes européennes et y entretenaient des feux. Telle est la conclusion d'une équipe franco-belge, impliquant plusieurs laboratoires du CNRS, qui a publié le 25 mai dernier dans *Nature*¹ les résultats de son étude sur la grotte de Bruniquel, située dans le Tarn-et-Garonne. Les scientifiques ont en effet daté, grâce à la méthode « uranium-thorium », les structures composées de 400 stalagmites brisées et agencées en rond qui avaient été découvertes en 1990 à 300 mètres de l'entrée de la grotte. Leur âge : 176 500 ans ! Ce sont donc les premiers représentants européens de Néandertal qui seraient les auteurs de ces structures complexes. En outre, des restes d'os brûlés et des foyers ont été trouvés sur la structure. La grotte Chauvet restait jusque-là une des plus anciennes preuves formelles de fréquentation des grottes profondes par l'homme... il y a 38 000 ans. || A.-S. B.

¹ « Early Neanderthal constructions deep in Bruniquel Cave in southwestern France », J. Jaubert et al., *Nature*, publié en ligne le 25 mai 2016.



▶ Visionner la vidéo sur lejournal.cnrs.fr

NUMÉRIQUE

Biométrie. Après les empreintes digitales, le visage ou l'iris, les chercheurs explorent de nouvelles stratégies d'authentification biométrique, basées sur notre façon de bouger et sur notre manière d'interagir avec nos smartphones.

PAR LÉA GALANOPOULO

Bouger pour s'identifier

Pour nous assurer un accès sécurisé aux ordinateurs et aux services en ligne, de plus en plus de parties de notre corps sont susceptibles de passer au scanner afin de nous authentifier. Car nos doigts révèlent bien plus sur nous que nos seules empreintes digitales... Ainsi, depuis 2007, une nouvelle méthode d'authentification biométrique, surnommée avec humour « frappologie », est apparue en France sous la direction de Christophe Rosenberger, professeur des universités à l'Ensicaen, et de son équipe du laboratoire Greyc¹. L'analyse de la dynamique de frappe au clavier part d'un principe simple : nous possédons tous une façon unique de taper sur notre ordinateur ou notre smartphone. Tendance à enfoncer brutalement les touches ou doigts légers et rapides : la dynamique de frappe trahit facilement notre identité.

« Pour identifier une personne grâce à son style de frappe, nous mesurons trois paramètres : le temps de pression sur chaque touche, le temps de relâchement ainsi que le temps de vol entre deux touches », précise Christophe Rosenberger. Il suffit alors de taper cinq fois un mot de passe personnel pour que le logiciel apprenne la signature de frappe unique à l'utilisateur, à l'aide d'un

▼ L'analyse des gestes pourrait rejoindre le scan d'iris et d'empreintes digitales comme méthode d'authentification.

modèle mathématique. « Lors de l'authentification, la machine compare le style de frappe du mot de passe tapé au modèle enregistré auparavant pour l'utilisateur », ajoute le chercheur.

Simplifier les mots de passe

L'analyse de la dynamique de frappe moderne fonctionne aussi bien avec un clavier classique qu'avec un clavier tactile ou même directement sur une page Web. Elle agit comme une seconde porte de sécurité, couplée avec le mot de passe. Dans seulement 6 % des cas, l'analyse du style de frappe échoue, « mais en supposant que la personne connaisse déjà le mot de passe », souligne le chercheur. Une garantie de sécurité à moindre coût, car cette technique n'impose aucun périphérique supplémentaire, contrairement à d'autres méthodes biométriques. « Les ordinateurs n'ont pas tous des capteurs d'empreintes digitales, mais ils ont tous un clavier ! », relève Christophe Rosenberger.

Dans la pratique, la frappologie intéresse déjà les services de banque en ligne. « Actuellement, on demande des mots de passe très complexes pour accéder aux comptes, que la plupart des utilisateurs stockent sur leur ordinateur, ce qui est peu sécurisé », rappelle le chercheur. En intégrant le style de frappe à l'arsenal de sécurité, les mots de passe pourraient retrouver leur simplicité. Fini, donc, les listes de 15 caractères intégrant ponctuation, chiffres et majuscules !

1. Groupe de recherche en informatique, image, automatique et instrumentation de Caen (CNRS/Unicaen/Ensicaen), équipe « Monétique et biométrie ». 2. Laboratoire d'informatique en image et systèmes d'information (CNRS/UCBL/Univ. Lumière Lyon 2/Insa/Centrale Lyon).



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

“La machine compare le style de frappe du mot de passe tapé au modèle enregistré pour l'utilisateur.”

Chaque méthode d'authentification possède ses avantages et ses inconvénients. D'où l'intérêt d'en combiner plusieurs. Sur smartphone, le pas est déjà presque franchi avec Google. Le géant américain a lancé le projet Abacus, qui vise à supprimer totalement l'utilisation du mot de passe pour déverrouiller un smartphone en le remplaçant par des méthodes d'authentification biométrique : reconnaissance du visage, de la voix ou même de la façon de respirer ! À ces paramètres s'ajoute l'analyse de la façon dont l'utilisateur interagit avec son portable, développée par Christian Wolf et Natalia Neverova, de l'Insa de Lyon, en collaboration avec Graham Taylor, de l'université de Guelph au Canada. « Au début, nous n'étions pas sûrs que les données seraient assez efficaces. Mais les résultats montrent finalement que les mouvements sont très corrélés à chaque personne », révèle Christian Wolf, maître de conférences au Liris², s'appuyant sur les résultats d'une étude préliminaire menée par Google sur 1 500 personnes.

L'analyse de la gestuelle se base sur les capteurs gyroscopiques et l'accéléromètre intégrés dans chaque smartphone. Ils permettent de distinguer finement la rotation et le mouvement linéaire de l'appareil. « Nous avons conçu un modèle mathématique permettant à la machine d'apprendre à identifier les mouvements et donc l'utilisateur », explique Christian Wolf. Basée sur une technique appelée le Deep Learning, le programme est entraîné de manière automatique, à partir d'un grand ensemble de données d'utilisateurs enregistrées par Google. Comme lorsque, dans notre enfance, nous apprenons à distinguer l'image d'un chat, ici la machine apprend à reconnaître une personne via

ses mouvements. » Point positif : ce système ne transmet jamais les données personnelles, qui sont entièrement maîtrisées par l'utilisateur. La machine s'adapte à lui et intègre ainsi en permanence de nouvelles données.

Peut-on frauder la biométrie comportementale ?

En prenant en main son téléphone, l'utilisateur n'aura donc plus à entrer de mot de passe, l'appareil se déverrouillant automatiquement. « Si, au bout de trente secondes, la machine détecte que ce n'est pas vous grâce aux gestes ou à la reconnaissance faciale par exemple, alors elle se verrouille », précise le chercheur. La fiabilité de ce projet paraît presque incroyable... En combinant ces différentes techniques d'identification, l'efficacité est supérieure à celle d'une empreinte digitale ou d'un code PIN.

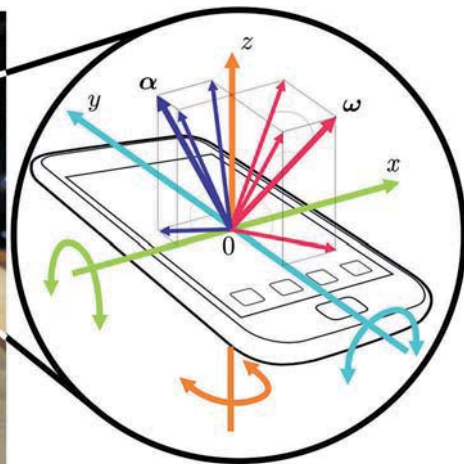
Seulement, tout comme pour un mot de passe classique, se pose la question de la fraude. Est-il possible d'imiter la manière de frapper de quelqu'un et sa façon de tenir son portable ? Ou tout simplement, est-il possible que ces comportements changent au cours de notre vie ? Pour Christian Wolf comme pour Christophe Rosenberger, ces failles sont envisageables, mais il suffit d'affiner l'algorithme de la machine et de le mettre à jour régulièrement.

La biométrie comportementale interroge également la protection de la vie privée. D'autant plus que l'analyse de la dynamique de frappe pourrait servir au profilage psychologique. « Nous arrivons à déterminer le genre de l'utilisateur dans près de 80 % des cas », souligne Christophe Rosenberger, qui précise que cela fonctionne aussi pour l'âge. Si cela est confirmé, la frappologie pourrait être utilisée pour repérer les pédophiles sur les sites de tchat pour mineurs ou encore pour déceler les faux avis sur les sites de e-commerce... Des techniques « totalement déployables dès demain », ajoute Christophe Rosenberger. En termes d'authentification biométrique, « la machine semble, dans certains cas, dépasser l'homme », conclut Christian Wolf. ■

► Un utilisateur peut s'authentifier grâce à ses mouvements mesurés par les capteurs intégrés d'un smartphone.



© C. WOLF, N. NEVEROVA / LIRIS - S. NILSSON / CC BY-SA 2.0



Le musée du quai Branly souffle ses 10 bougies

SOCIÉTÉS ❖❖

Partenariat. Voilà dix ans que le musée du quai Branly expose l'importance des arts et civilisations d'Afrique, d'Asie, d'Océanie et des Amériques, « à la croisée d'influences culturelles, religieuses et historiques multiples ». Une décennie durant laquelle expositions temporaires, conférences, spectacles et manifestations scientifiques ont attiré des millions de visiteurs. Retour en images, en compagnie de l'anthropologue Frédéric Keck, directeur du département de la Recherche et de l'Enseignement du musée, sur des événements qui ont marqué ces dix ans et dont *CNRS Le journal* a été partenaire.

PROPOS RECUEILLIS
PAR YAROSLAV PIGENET

Persona. Étrangement humain

26 janvier-13 novembre 2016

« *Persona* interroge les frontières entre l'humain et le non-humain. De quel type de présences voulons-nous nous entourer ? Cette question anime aussi bien les recherches des roboticiens que les usages des objets anthropomorphes. Quand un visage se dessine sur une pierre, nous nous demandons quelle relation nous pouvons avoir avec lui. En invoquant des cultures archaïques ou des croyances irrationnelles, la force de l'exposition est de retrouver cette interrogation dans toutes les sociétés, sans jamais la résoudre. »



© G. DEBILON/MUSÉE DU QUAI BRANLY



▼ *Homos luminosos*, œuvre en fibre optique de Roseline de Thélin.

Mayas. Révélation d'un temps sans fin

7 octobre 2014-8 février 2015

« Les Mayas sont réputés pour l'invention du calendrier. Cette exposition retraçait ainsi la conception du temps qui émane des objets archéologiques issus de cette grande civilisation. Le déchiffrement de leur langage a permis de mieux comprendre leurs rituels sacrificiels et l'horizon apocalyptique dans lequel ils se situaient. Des préoccupations qui résonnent évidemment avec nos interrogations contemporaines. »

© A. CHEMOLLO/MUSÉE DU QUAI BRANLY



▼ Cette exposition a présenté près de 400 œuvres mayas.

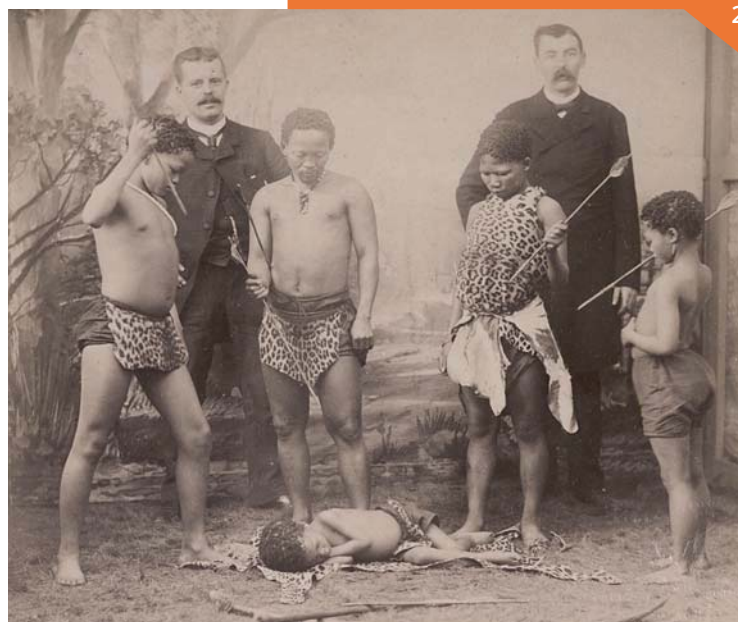
Exhibitions. L'invention du sauvage.

29 novembre 2011-3 juin 2012



© R. PRINCE BOMPART/MUSÉE DU QUAI BRANLY

« Les puissances coloniales du XIX^e siècle étaient fières d'exposer les sujets de leur empire dans des zoos. Ce mode d'exposition nous paraît aujourd'hui scandaleux parce qu'il semble réduire les hommes à des animaux. Il a pourtant forgé une grande partie de l'esthétique du sauvage dans de nombreuses productions culturelles populaires ou d'avant-garde. En reprenant les images de cette époque, cette exposition s'interrogeait avant tout sur ce que signifie exposer l'altérité. »



▼ Tirage montrant le spectacle de Pygmées « Les Boschiman » (1886).

L'ethnologie va vous surprendre!

Deux jours pour explorer le XXI^e siècle



▼ Le temps d'un week-end, les grandes questions de l'ethnologie sont à l'honneur.

« Tous les deux ans, le musée du quai Branly s'ouvre au public dans le cadre d'un week-end intitulé "L'ethnologie va vous surprendre!". En montrant les derniers travaux de jeunes ethnologues et en proposant des conférences sur des sujets fondamentaux par des anthropologues réputés, le musée contribue à faire

connaître cette discipline qui fait souvent l'objet de malentendus. C'est aussi pour les chercheurs l'opportunité de partager leur regard sur les collections du musée, en retraçant leur histoire et leur signification. »

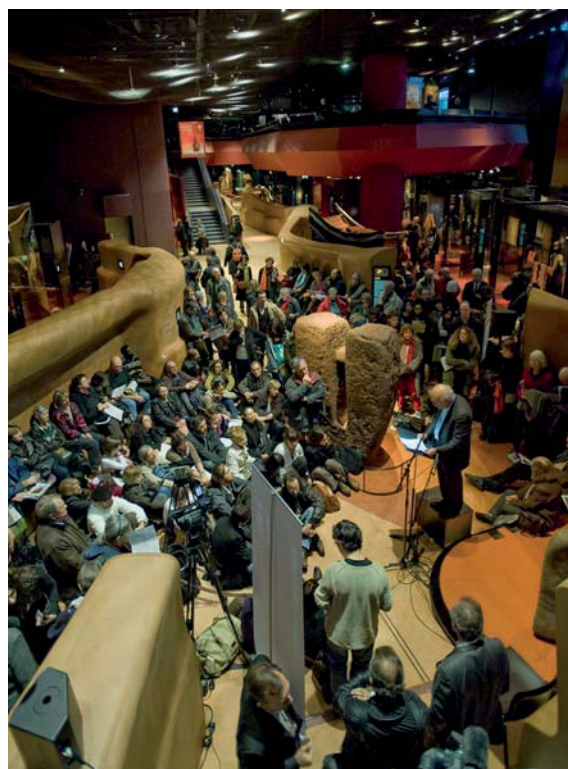
© D. GAUDICHEAUMUSÉE DU QUAI BRANLY

Claude Lévi-Strauss a 100 ans

Journée spéciale - 28 novembre 2008

« Claude Lévi-Strauss (1908-2009) est la grande figure de l'anthropologie française. Sa vie accompagne le XX^e siècle, sur lequel il pose un regard distancié, issu des sociétés qu'il a étudiées. Pour ses 100 ans, cent personnalités ont lu au musée du quai Branly les textes qui jalonnent son œuvre. L'occasion pour le public de découvrir le mélange de rigueur scientifique et de plaisir littéraire qui caractérisait son style. »

© J. ROSTAND/MUSÉE DU QUAI BRANLY



▼ Lecture sur le thème du voyage lors du centenaire de Claude Lévi-Strauss.

VIVANT 

Biologie. Les scientifiques pensaient que nos cellules avaient appris à respirer en ingérant des bactéries. Selon des travaux récents, il s'agirait d'une infection plutôt que d'une ingestion.

PAR KHEIRA BETTAYEB

Comment nos cellules ont appris à respirer

Comment nos cellules sont-elles apparues ? Plus précisément, comment ont-elles acquis leurs mitochondries, des organites indispensables au métabolisme cellulaire ? La question taraude les biologistes depuis près d'un siècle. En février, une équipe du CNRS a proposé une explication impliquant... une infection par une bactérie pathogène ! Audacieuse, cette théorie divise les biologistes. Tout se serait joué il y a environ deux milliards d'années. C'est alors que seraient apparues les cellules dites eucaryotes qui constituent tous les animaux et les végétaux. À la différence des cellules procaryotes telles que les bactéries, les cellules eucaryotes sont dotées d'un noyau contenant la quasi-totalité de leur ADN, mais surtout de deux structures très importantes : les mitochondries et, chez les plantes et les algues, les chloroplastes. La mitochondrie assure la respiration cellulaire qui permet la production d'une énergie utilisable par la cellule ; le chloroplaste est, quant à lui, le centre de la photosynthèse, ce processus assurant la synthèse de sucres à partir du CO₂ atmosphérique.

Comme mitochondries et chloroplastes sont des structures dotées de leur propre patrimoine génétique, la microbiologiste américaine Lynn Margulis postula, en 1970, qu'elles étaient apparues au cours de l'évolution, après l'ingestion – on dit aussi endocytose – de certaines



▼ Vue d'artiste de mitochondries, des éléments qui jouent un rôle essentiel dans la respiration des cellules.

bactéries libres par d'autres organismes unicellulaires procaryotes. Des bactéries libres douées initialement de la capacité de respiration (pour la mitochondrie) ou de photosynthèse (pour le chloroplaste). Cette endocytose des chloroplastes semble postérieure à celle des mitochondries. Ces bactéries « ingérées » se seraient ensuite maintenues dans leurs hôtes grâce à l'établissement d'une coopération mutuelle. On parle alors de symbiose : la bactérie aurait fourni à la cellule hôte son processus énergétique ; laquelle, en contrepartie, lui aurait apporté protection et nutriments nécessaires à son fonctionnement. Cette théorie de l'endosymbiose est aujourd'hui celle acceptée par la majorité des biologistes.

Une origine pathogène aux mitochondries ?

Demeuraient toutefois plusieurs zones d'ombre concernant la nature exacte de la cellule primitive ayant avalé la bactérie, le mécanisme de cette internalisation et surtout la manière dont la bactérie avait pu initialement se maintenir à l'intérieur d'un hôte a priori hostile. Les cellules sont en effet dotées de mécanismes immunitaires très agressifs destinés à détruire tout élément s'immisçant en elles...

Dans leur article publié en février dernier¹, le biologiste lillois Steven Ball² et ses collègues exposent la théorie suivante : la cellule ancêtre des eucaryotes aurait

1. « Pathogen to powerhouse : how did the precursors to the mitochondrion and the plastid evade host defense ? », Steven Ball et al., *Science*, 12 février 2016, vol. 351 (6274) : 659-662. 2. Unité de glyco-biologie structurale et fonctionnelle (CNRS/Univ. de Lille 1). 3. Laboratoire de génétique et de biophysique des plantes (CNRS/CEA/Aix-Marseille Univ.). 4. Unité CNRS/UCBL.



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



© WIREIMAGE.COM

acquis sa première mitochondrie non pas en capturant une bactérie libre, mais en étant infectée par une bactérie pathogène habituée à vivre à l'intérieur des cellules et capable de contrecarrer les défenses immunitaires cellulaires. « En rassemblant différents résultats récents de phylogénie (étude des relations de parentés entre différents êtres vivants) et de biologie moléculaire, nous sommes arrivés à la conclusion que la mitochondrie dérivait d'une bactérie de l'ordre des rickettsies, auquel appartient notamment l'agent du typhus, cette maladie contagieuse grave de l'humain », précise Steven Ball.

En fait, la parenté de la mitochondrie et des rickettsies avait déjà été notée par plusieurs études. Mais elle n'avait jamais été prise au sérieux, comme l'explique le chercheur : « D'une part, on pensait que les rickettsies étaient apparues bien après les cellules eucaryotes. D'autre part, on n'imaginait pas que l'ancêtre procaryote pouvait être infecté par d'autres bactéries pathogènes. » Les données exposées par les chercheurs lillois remettent en cause ces présupposés.

Une théorie plausible... mais controversée

Mais il n'y a pas que la mitochondrie ! Dans une étude parue il y a deux ans, les chercheurs avaient suggéré que le chloroplaste découlait lui aussi de l'infection d'une cellule ancestrale par une bactérie pathogène, mais via un mécanisme différent. « Nous avons confirmé que le chloroplaste dérivait bien lui d'une bactérie libre douée de la photosynthèse, détaille Steven Ball. Mais – et c'est là que notre thèse est innovante – cette cyanobactérie aurait été assistée par un troisième acteur : un pathogène intracellulaire justement. Lequel serait cette fois une bactérie de l'ordre des chlamydiae, responsables elles aussi de diverses maladies. » Selon cette thèse, le pathogène aurait protégé une cyanobactérie – le futur chloroplaste – des

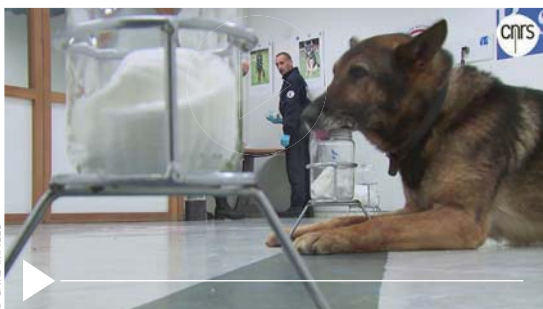
défenses de l'eucaryote hôte. Tout en fournissant à la cellule hôte les fonctions nécessaires pour utiliser les molécules produites par photosynthèse.

« Issus d'un long cheminement commencé il y a dix ans, nos travaux ouvrent une nouvelle ère très excitante dans la recherche sur l'origine des cellules eucaryotes », commente Steven Ball. « Effectivement, ces travaux sont très intéressants, et ces thèses, très plausibles », confirme Ben Field, spécialiste de la biologie du chloroplaste³. Au laboratoire Biométrie et biologie évolutive⁴, Manolo Gouy est, quant à lui, beaucoup moins enthousiaste : « Ces travaux ne sont que des hypothèses non appuyées par des résultats d'expériences. Ils nécessitent confirmation... S'il est clair que la mitochondrie et le chloroplaste sont d'origine bactérienne, je ne pense pas que l'on ait pour l'instant des éléments forts permettant de préciser le mécanisme par lequel la bactérie est entrée dans la cellule hôte. »

On l'aura compris, la théorie de l'équipe de Steven Ball soulève une vive controverse. « On s'y attendait, car c'est un changement total de paradigme », rétorque Steven Ball. Afin de confirmer ou d'infirmer leurs thèses, ses collègues et lui projettent de nouvelles études « tant sur les plans de la microbiologie expérimentale et de la biochimie que de la phylogénie ». Il est en effet crucial de savoir comment la cellule ancêtre des eucaryotes est parvenue à ingérer un micro-organisme doté d'un patrimoine génétique propre. Résoudre cette énigme n'est pas qu'un problème de recherche fondamentale. Car, explique Steven Ball, « il deviendrait alors possible de transmettre, dans des cellules, non pas un ou quelques gènes mais un grand nombre, ainsi que les structures cellulaires entières. Ce qui permettrait de faire en sorte, par exemple, que des plantes puissent fixer de l'azote atmosphérique ou que des micro-organismes produisent de l'hydrogène, un potentiel carburant d'avenir ». II

Vidéo

VIVANT SOCIÉTÉS



C'est prouvé : les chiens policiers ont du flair

Depuis 2003, les chiens de la brigade d'odorologie aident la police à confondre des suspects à partir de leur empreinte olfactive. Après avoir analysé toutes les données disponibles sur le sujet, des chercheurs du Centre de recherche en neurosciences de Lyon (CNRS/Inserm/UCBL) viennent de valider la fiabilité de cette technique. Découvrez les explications dans une vidéo publiée sur notre journal en ligne, en partenariat avec LeMonde.fr.



Visionner la vidéo
sur lejournald.cnrs.fr

Agriculture : des logiciels pour les « circuits courts »

PAR LAURE CAILLOCE

NUMÉRIQUE

Informatique. Il ne suffit pas de décréter qu'on va manger local. Encore faut-il que les agriculteurs soient organisés pour cela et y trouvent leur compte financièrement. Des informaticiens se sont penchés sur les circuits courts, qui mettent en contact directement clients et producteurs.

Manger local grâce aux circuits courts. C'est ce que demandent de plus en plus de consommateurs, qui n'hésitent plus à acheter directement auprès des agriculteurs de leur région. Une tendance suivie par la restauration collective : un peu partout en France, des initiatives fleurissent qui mettent en relation producteurs locaux et gestionnaires de cantines. Résultat : aujourd'hui, un paysan français sur cinq vend une partie de sa production en circuit court. Des chercheurs en optimisation et en informatique se sont penchés sur ces circuits afin de les rendre plus efficaces.

Optimiser la chaîne logistique

À Grenoble, Van-Dat Cung et son équipe du Laboratoire des sciences pour la conception, l'optimisation et la production (G-Scop)¹ ont décidé de faire bénéficier des logiciels d'optimisation et d'aide à la décision un secteur, le monde agricole, qui y a encore

peu recours. « Nous avons travaillé avec deux associations de producteurs de fruits et légumes de l'Isère », raconte Van-Dat Cung. L'objectif : aider ces producteurs à fournir les cantines scolaires et la restauration collective du département à des prix rémunérateurs. « Il y a une vraie demande de produits de qualité de la part des parents d'élèves, souligne le chercheur, mais, sans la mise en place d'une chaîne de distribution en circuit court, les producteurs locaux ont le plus grand mal à y répondre. »

Bien décidés à trouver l'organisation la plus pertinente, les chercheurs ont mis à plat toute la chaîne logistique : qui transporte les produits, par quel moyen, où sont-ils stockés... « Il y a beaucoup de coûts cachés, relève Van-Dat Cung. Certains producteurs s'organisent pour récupérer les produits les uns chez les autres et choisissent qui livrera le client final. Mais ils comptabilisent rarement ce

temps de livraison dans leurs coûts. » Après avoir simulé plusieurs types d'organisation, les chercheurs en ont conclu qu'« à l'échelle de quelques dizaines de producteurs, il [était] parfois plus avantageux de sous-traiter le transport à un professionnel », note Van-Dat Cung. Autre maillon de la chaîne logistique, une plateforme de stockage et de redistribution s'avère bien souvent nécessaire et pourra être mise en place par les associations de producteurs. Dernière préconisation, spécifique aux producteurs souhaitant livrer la restauration collective en circuit court : s'équiper d'une légumerie qui transformera en produits prêts à l'emploi les légumes frais. « Les cantines n'ont souvent plus le savoir-faire ni le personnel pour travailler les produits bruts », remarque le chercheur.

Un outil pour les fermes urbaines

Un autre projet en cours au G-Scop vise les fermes urbaines et périurbaines, qui connaissent un engouement croissant dans les métropoles. « De plus en plus de jeunes agriculteurs souhaitent s'installer en périphérie des villes. Mais ils ont besoin de savoir quelle taille d'exploitation viser et quelles productions lancer afin de répondre au mieux à la demande locale », indique Van-Dat Cung. Un logiciel est en phase de développement pour répondre à ces interrogations et pourrait être commercialisé à l'issue de la thèse de Nicolas Brulard, le chercheur chargé de ce projet. « Nous avons prévu d'introduire dans nos modèles des activités annexes, comme les activités pédagogiques, ajoute Van-Dat Cung, car elles sont souvent utiles pour atteindre le seuil de rentabilité. » Une chose est sûre : informatisée ou non, la ferme de demain ne ressemblera pas à celle de nos grands-parents. ||

► Les agriculteurs souhaitant livrer les cantines ont tout intérêt à investir dans une « légumerie » qui transformera les légumes frais en produits prêts à l'emploi.



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



© J. NICOLAS/BIOSPHOTO

1. Unité CNRS/Grenoble INP/Univ. Grenoble Alpes.

LES IDÉES



Où l'on s'intéresse à la disparition non élucidée du Juste suédois Raoul Wallenberg, au mythe de Sherlock Holmes et aux promesses de la biomasse.



© MEMORIAL DE LA SHOAH

Raoul Wallenberg, le Juste oublié

▼ Raoul Wallenberg (assis) à la légation suédoise en novembre 1944, en compagnie de ses collaborateurs Juifs hongrois.

SOCIÉTÉS

Histoire. Soixante-dix ans après sa disparition, le diplomate suédois Raoul Wallenberg, qui a sauvé des dizaines de milliers de Juifs de la déportation, va être déclaré officiellement mort. Décryptage par les historiens Annette Wiewiorka¹ et Fabrice Virgili².



PROPOS RECUEILLIS PAR LYDIA BEN YTZHAK

Vous avez dirigé l'ouvrage *Raoul Wallenberg. Sauver les Juifs de Hongrie*. Pouvez-vous nous dire dans quel contexte Raoul Wallenberg arrive à Budapest ?

Annette Wiewiorka : Quand Adolf Eichmann entre en Hongrie avec ses hommes le 19 mars 1944, les Juifs de ce pays forment la dernière grande communauté d'Europe encore pratiquement intacte. En sept semaines, avec la coopération des forces de police hongroise, un demi-million de Juifs sont déportés à Auschwitz. La Hongrie du régent Miklós Horthy est une alliée de l'Allemagne depuis le début de la Seconde Guerre mondiale, mais à partir de 1943 sa loyauté devient de plus en plus vacillante et, en mars 1944, l'Allemagne va envahir son allié hongrois. Le régent reste formellement au pouvoir mais, dès le 21 mars, Adolf Eichmann s'installe à Budapest.

Fabrice Virgili : Une des motivations de l'invasion nazie est que, jusque-là, les Juifs de Hongrie avaient échappé à la solution finale. Eichmann arrive donc avec pour mission la mise en place de la déportation vers Auschwitz. On assiste en un temps record à la déportation de plus de 400 000 Juifs. Les bombardements sur Budapest surviennent alors même que ces déportations sont en cours. À la suite de cette pression alliée, celles-ci s'arrêtent en juillet. C'est à ce moment-là que Raoul Wallenberg arrive à Budapest.

Pourquoi s'installe-t-il en Hongrie ?

F. V. : Au vu de la carrière et de la personnalité de Raoul Wallenberg, rien ne le prédestinait au rôle qu'il va jouer. Il était membre d'une famille importante dans l'économie suédoise. Par son travail dans le monde des affaires, il fréquentait la bonne société de plusieurs pays. Il a voyagé à travers l'Europe en guerre grâce à son statut de Suédois neutre. C'est en raison de son excellent carnet d'adresses qu'il va être approché par le Congrès juif mondial pour aller sauver une population juive qui se concentre alors essentiellement à Budapest ; les Juifs hors de la capitale ayant à ce stade tous été déportés et assassinés. Il faut bien comprendre que, en 1944, quand le sort des armes a déjà basculé après Stalingrad, il y a toutes sortes de tentatives de négociations. Un financement est monté pour que Raoul Wallenberg puisse remplir une mission consistant à sauver quelques dizaines ou centaines de Juifs de Budapest. Quand il arrive sur place, il ne mesure

1 et 2. Sorbonne-Identités, relations internationales et civilisations de l'Europe (CNRS/Univ. Paris 1 Panthéon-Sorbonne/Univ. Paris-Sorbonne).



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

pas encore la gravité de la situation. Ce sont les événements qui vont le conduire à jouer un rôle bien plus important que prévu.

A. W. : N'oublions pas non plus ce que représente en Suède le nom de Wallenberg : celui d'un des groupes industriels et financiers les plus puissants de Scandinavie. La formation internationale de Raoul Wallenberg le mena notamment aux États-Unis et en Palestine, en Afrique du Sud et en Hongrie en 1938. Ainsi ses liens avec les États-Unis et le fait qu'il était citoyen d'un pays neutre expliquent que sa mission, probablement inspirée par les Américains, fut possible.

Quel va être son rôle effectif à partir de juillet 1944 ?

A. W. : On doit à Paul Gradwohl, historien spécialiste de la Hongrie contemporaine, l'étude de ce que fit Wallenberg de juillet 1944 à janvier 1945 : il va œuvrer pour sauver un maximum de Juifs. À ce moment-là, si les déportations sont interrompues, des massacres se poursuivent. La volonté des nazis d'assassiner ce qu'il reste de Juifs en Hongrie demeure intacte. Le régent Horthy a été remplacé et Adolf Eichmann revient à Budapest. En cet automne 1944, Wallenberg va émettre des certificats de nationalité suédoise qu'il va distribuer à un maximum de Juifs pour les mettre à l'abri, courant à chaque instant le risque de se faire tuer lui-même. Le 16 janvier 1945, l'Armée rouge entre à Budapest, mettant fin à tout risque de déportation. Dès le lendemain, Raoul Wallenberg est arrêté par l'Armée rouge.

Quelle est la raison de cette arrestation ?

Sait-on ce que devient Raoul Wallenberg après ?

F. V. : Plusieurs hypothèses subsistent. Manifestement, il est très vite emmené à Moscou. Pourquoi ? Parce que, pour les autorités soviétiques, ce personnage est ambigu et elles le soupçonnent d'être lié aux services secrets américains. Bien sûr, ce n'est pas encore la Guerre froide, mais voilà un personnage neutre, dont on n'identifie pas bien la mission et qui a de l'argent avec lui... Autant d'éléments qui s'ajoutent au fait que Wallenberg a dû discuter avec Eichmann et les nazis pour essayer de protéger les Juifs en vie. En tout état de cause, il y a une certaine méfiance vis-à-vis de lui. On sait qu'il est arrêté et transféré à Moscou dans le secret, et on suppose qu'il est soit assassiné immédiatement, soit qu'il meurt en prison en 1947 dans les cellules du KGB. La date officielle selon les autorités soviétiques est le 17 juillet 1947. On peut considérer, après de nombreuses enquêtes et travaux, qu'effectivement c'est à ce moment-là qu'il serait décédé. Néanmoins, et c'est toute la particularité de la situation, les autorités soviétiques ont mis énormément de temps à reconnaître son décès et n'ont jamais fourni réellement de documents. Le premier à annoncer que Wallenberg est mort, c'est Khrouchtchev, en 1957, qui évoque une crise cardiaque mais sans délivrer de preuve convaincante.

A. W. : Raoul Wallenberg est arrêté par l'Armée rouge le 17 janvier 1945. La guerre n'est pas encore terminée. Peut-être a-t-il été pris pour un espion. Il est d'abord détenu à Budapest, et nous savons avec certitude qu'il a ensuite été emprisonné à Moscou, à la prison de Lefortovo, puis transféré en mars à la Loubianka, qui est le siège du KGB. Ensuite, il est difficile de répertorier ses lieux de détention. Il a nourri bien des fantasmes et certains détenus soviétiques du Goulag ont affirmé l'avoir croisé. On compte peut-être trois lieux de détention en Union soviétique après la Hongrie.

“Les autorités soviétiques soupçonnaient Wallenberg d'être lié aux services secrets américains.”

Pourquoi Raoul Wallenberg n'est-il officiellement déclaré mort qu'aujourd'hui ?

A. W. : Parce qu'il n'y a jamais eu de certitude absolue quant à sa mort, puisque le dossier médical n'a pas été retrouvé. Selon la version soviétique, il serait mort en juillet 1947 à la Loubianka. A-t-il été exécuté ? Il est impossible de répondre à cette question. Né en 1912, Wallenberg aurait aujourd'hui plus de 100 ans. Sa mort est donc une certitude. En avril, une démarche a été engagée auprès de l'administration fiscale suédoise pour qu'il soit déclaré officiellement décédé, à moins qu'il ne se manifeste avant le 14 octobre 2016.

On peut s'étonner que la Suède et les Alliés n'aient rien fait pour avoir des éclaircissements.

Quelle est la raison de cette « retenue » ?

F. V. : Pour son malheur, ce personnage va tomber au milieu de plusieurs contradictions, dues d'abord au rôle de la Suède pendant la guerre. La Suède était un pays neutre dont l'essentiel de l'économie servait en fait le III^e Reich en alimentant l'industrie, par exemple avec les roulements à billes pour l'aviation. À la fin de la guerre, la pression des Alliés sur la Suède est très forte pour qu'elle cesse ses relations avec l'Allemagne. Juste après la défaite de l'Allemagne, la Suède va faire preuve de bonne volonté auprès des différents acteurs américains et soviétiques. Elle ne va pas insister pour avoir des éclaircissements sur le sort de Raoul Wallenberg et le rétablissement de bonnes relations avec l'Union soviétique passera avant. On peut aussi noter que, contrairement à la famille proche, les dirigeants de l'empire Wallenberg ne vont pas se démener pour le faire libérer. Il n'en demeure pas moins que Raoul Wallenberg va devenir un emblème. Pour preuve, il est nommé en 1981 citoyen d'honneur des États-Unis. Une distinction si rare qu'un seul étranger, Winston Churchill, l'a reçue avant lui. ■



Raoul Wallenberg. Sauver les Juifs de Hongrie, Fabrice Virgili et Annette Wiewiorka (dir.), Payot, coll. « Bibliothèque historique », janv. 2015, 224 p., 22 €



Sherlock Holmes, un héros rassurant ?

Nathalie Jaëck

Directrice du laboratoire Cultures et littératures des mondes anglophones à l'université Bordeaux Montaigne

Sherlock Holmes a la vie dure, comme son créateur Conan Doyle en a fait l'expérience... Excédé par son encombrant personnage qui lui volait la vedette et le détournait d'entreprises littéraires qu'il jugeait plus sérieuses, Doyle a bien essayé de le faire disparaître après à peine sept ans d'existence. Mais, noyé sous les lettres de protestation et d'insultes du public londonien, il finit par ressusciter le détective. Cent trente ans après ses débuts, il débarquait à nouveau sur les écrans le 4 mai dernier dans le film *Mr. Holmes*, réalisé par Bill Condon.

Si le personnage suscite depuis toujours cette compulsion de réécriture, il semble que la tendance s'intensifie encore depuis une dizaine d'années et que l'on assiste à un véritable phénomène : les films de Guy Ritchie ont donné le ton en 2009 et en 2011, et un troisième opus est en préparation. Tandis que la télévision propose actuellement aux aficionados deux séries : la britannique *Sherlock* pour la BBC et l'américaine *Elementary* pour

CBS, qui se partagent les prix et les louanges et alimentent aussi bien les blogs geeks que les colloques universitaires.

Doyle, précurseur du format série

La première raison de cet engouement semble être liée à la nature même de la série, forme reine de notre époque à laquelle Sherlock Holmes se prête particulièrement bien puisque Doyle est un précurseur en la matière. À la fin du XIX^e siècle, il invente en effet une forme très aboutie de sérialité, en proposant 56 épisodes (56 nouvelles) et 4 numéros spéciaux (4 romans, plus longs) des aventures du détective, répétant de fois en fois les éléments caractéristiques que l'on a plaisir à reconnaître et à retrouver, et qui créent un phénomène de manque et d'addiction dont les scénaristes contemporains exploitent les ressorts : tension de l'épisode suivant, plaisir de la répétition, satisfaction intense et manque aigu sitôt l'épisode terminé. Le détective cocainomane, addict de la détection, en manque perpétuel

de cas à résoudre, est après tout une figure idéale pour incarner la pathologie du spectateur lui-même, en attente fébrile de son shoot périodique.

Sherlock Holmes fusionne également deux types de personnages très en vogue : le détective et le super-héros. Il ne serait pas faux de dire que Sherlock Holmes est l'un des tout premiers super-héros, auquel ne manque même pas la cape : doté de super-pouvoirs de déduction, justicier de la ville, il sauve le monde à tour de bras, il est le saint auquel se voue une police de Scotland Yard invariablement dépassée par les événements.

De ce fait, il est aussi, et c'est peut-être là un point essentiel dans notre période troublée où le sentiment de sécurité s'amenuise, où le discours sécuritaire prend de l'ampleur, une figure éminemment rassurante : Sherlock Holmes, c'est

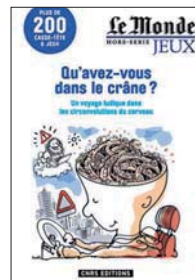
Le détective rationnel est aussi un dilettante dandy vauté sur son canapé, accro à diverses substances.

À lire

MICROBES

À chaque instant, des escadrons de microbes, de bactéries, de champignons et de virus entrent dans notre corps par l'air que nous respirons, l'eau et les aliments que nous avalons. Tout à la fois parasites, commensaux, passagers clandestins ou anges gardiens, ces organismes microscopiques ont un point commun : ils tentent sans relâche de conquérir de nouveaux territoires à l'intérieur de notre organisme, parfois à nos dépens – comme lors d'une infection, parfois pour notre plus grand bénéfice – quand ils aident notre système digestif à assimiler les aliments. Qui sont-ils ? D'où viennent-ils ? Comment communiquent-ils ? Pourquoi nous rendent-ils malades ? Comment nous en protégeons-nous ? Autant de questions qui trouveront leurs réponses dans ce documentaire illustré, destiné aux enfants de 9 ans et plus, et réalisé à partir de rencontres avec de nombreux scientifiques.

La Guerre secrète des microbes, Florence Pinaud, ill. Stéphane Kiehl, Actes Sud Junior, avril 2016, 88 p., 15,90 €



JEUX

Le Monde et CNRS Éditions publient deux cahiers ludiques et instructifs pour une approche plus détendue du savoir et de la science. Consacrés au cerveau et à l'alimentation, ces ouvrages permettent d'aborder des questions complexes en usant de quiz, mots-croisés, rébus et autres contenus décalés. Notre cerveau dort-il ? Peut-on entraîner notre

mémoire ? Pourquoi mange-t-on ? Est-on tous égaux face à la nourriture ? Auteurs en 2008 du *Cahier de vacances philo*, Sophie Fromager et Patricia Laporte-Muller s'attachent à poser de nombreuses questions auxquelles elles répondent avec clarté et précision.

Qu'avez-vous dans le crâne ?, *Qu'avez-vous dans le ventre ?*, Sophie Fromager et Patricia Laporte-Muller, *Le Monde Hors-série*/CNRS Éditions, juin 2016, 120 p., 5,95 €



celui qui éloigne le chaos, qui secourt le monde, c'est un recours infaillible contre le désordre et les forces du mal. Là où les autres, la police, les citoyens « normaux » ne voient que désordre, incompréhension et danger, Holmes remet de l'ordre et du sens, il identifie et ordonne le monde grâce à la connaissance supérieure qu'il en a, il le rend intelligible et cohérent, en même temps qu'il le débarrasse des criminels et des pervers. Pour illusoire et manichéenne qu'elle soit, on voit très bien à quel point la fonction de « rassurance » est remplie par le détective.

Holmes, une figure du mystère

Mais Holmes est aussi une figure du trouble, du double. Il parvient certes à régler les affaires du monde, mais il en va tout autrement pour sa petite histoire privée. Car le détective rationnel est aussi un dilettante dandy vauté sur son canapé, la « machine à détecter » est aussi à l'occasion une loque accro à diverses substances. Il est capable de piquer au harpon un cochon mort, de tirer au pistolet sur les murs de son appartement, ou de passer de longues nuits d'insomnies dans un appartement embrumé par le tabac ; c'est un sociopathe hyperactif, hyperfonctionnel, un obsessionnel incapable de s'extraire de ses diverses



▼ Dans la série *Elementary*, le Dr Watson est incarné par une femme, Lucy Liu, ce qui souligne l'ambiguïté des relations de Holmes avec son acolyte.

addictions, sans mentionner ses divers problèmes relationnels, sa sécheresse affective, sa sexualité trouble.

Tout cela fait bien évidemment de Sherlock Holmes une figure du mystère, lui qui s'efforce pourtant de les résoudre tous : à ce titre, il fait écho aux préoccupations contemporaines sur l'identité et sur le genre – *Elementary*, en faisant de Watson une femme séduisante, souligne toute l'ambiguïté du personnage et de ses relations avec son acolyte. La partie est donc plus compliquée qu'il n'y paraît, et il semble que le personnage joue sur deux

tableaux : suffisamment efficace pour rassurer un monde inquiet, suffisamment troublé pour signaler le caractère névrotique de cette volonté de contrôle. Le succès des différentes versions semble reposer sur la capacité des auteurs à trouver le délicat point d'équilibre entre ces deux tendances complémentaires. II



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

GRAAL

Apparu il y a plus de huit siècles dans un roman de Chrétien de Troyes, le Graal y est alors décrit comme un plat porté en procession devant le jeune Perceval. Cet objet énigmatique ne va acquiescer sa « dimension chrétienne » que dans la littérature médiévale ultérieure : il est alors peu à peu identifié au calice dans lequel a été recueilli le sang du Christ lors de la Passion, avant de devenir, de nos jours, le synonyme d'un accomplissement ultime. En replaçant l'évolution littéraire de ce mythe dans le contexte social et religieux de l'époque, la médiéviste Edina Bozoky présente ainsi la première synthèse des principales théories sur l'origine du Graal.

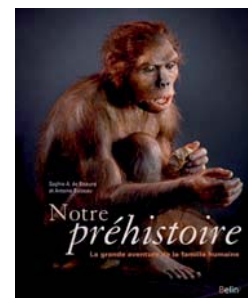
Les Secrets du Graal, Edina Bozoky, CNRS Éditions, mai 2016, 224 p., 22 €



PRÉHISTOIRE

Sept millions d'années et plusieurs centaines de cm³ de volume cérébral nous séparent de Toumaï, mais cela ne nous empêche pas d'appartenir à la même lignée : celle des hominins. Cette famille de grands singes bipèdes apparus en Afrique a évolué et donné naissance à de nombreuses espèces qui se sont succédé, ont parfois cohabité, et dont une seule – la nôtre – a réussi à survivre et a fini par conquérir la planète entière. Retraçant d'une façon claire et accessible à tous l'évolution foisonnante de l'humanité et la vie quotidienne de nos prédécesseurs préhistoriques, les paléanthropologues Sophie A. de Beaune et Antoine Balzeau nous permettent de mieux comprendre toute la richesse, mais aussi toute la complexité, de notre généalogie.

Notre Préhistoire. La grande aventure de la famille humaine, Sophie A. de Beaune et Antoine Balzeau, Belin, coll. « Beau livre », juin 2016, 208 p., 29,90 €





La biomasse, nouvel eldorado de la chimie?

François Jérôme

Chimiste à l'Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers¹

En 2050, la planète sera peuplée par plus de 9,2 milliards d'habitants.

Cette forte augmentation démographique a un impact direct sur les industries chimiques, lesquelles doivent produire toujours plus – plus de matières plastiques, de produits cosmétiques, d'additifs alimentaires, de médicaments – avec des ressources fossiles qui s'amenuisent ou deviennent de plus en plus difficiles à exploiter. Par ailleurs, la prise de conscience de notre impact sur la planète, et notamment le réchauffement climatique, nécessite de concevoir de nouveaux procédés plus économes en énergie, plus respectueux de l'environnement et plus sécuritaires.

Une matière prometteuse

Pour faire face à ces défis, l'introduction de sources de carbone renouvelable dans les procédés chimiques est une piste sérieusement étudiée. Au premier rang desquelles : la biomasse, c'est-à-dire toute la matière organique d'origine végétale, animale, mais aussi les bactéries et les champignons. Plus connue jusqu'à présent pour ses usages dans l'énergie – production de chaleur, d'électricité ou encore de carburant (bio-diesel) –, la biomasse suscite, en effet, un intérêt grandissant du secteur de la chimie. Et pourrait bien ringardiser, à terme, les produits issus de la pétrochimie, massivement utilisés. La biomasse contient de nombreuses molécules d'intérêt que les chimistes sont capables de séparer et de transformer, au cœur de véritables « bioraffineries » : des sucres, principalement, mais aussi des huiles, des composés aromatiques, des acides aminés, ainsi que de multiples composés mineurs comme les terpènes, les polyphénols, les stérols... qui entrent dans de nombreuses formulations.

Les tensioactifs qui permettent de maintenir les émulsions des crèmes cosmétiques ? Les polymères, les solvants, ou encore les arômes et les agents

épaississants utilisés par l'agroalimentaire ? Tous peuvent être produits à partir de composés carbonés issus de la biomasse. Pas la peine de ponctionner les ressources agricoles pour cela, les déchets organiques représentent un gisement de biomasse largement inexploité : résidus de bois issus des scieries, déchets de l'agriculture, ou même épluchures de légumes venues tout droit de nos poubelles...

Des coûts de production élevés

Alors, la biomasse, recette miracle pour une chimie plus durable ? Ce n'est pas si simple. Malgré des avantages évidents, plusieurs freins empêchent la généralisation de ces produits. Le principal est d'ordre économique, les coûts de production liés à la fabrication d'un produit biosourcé étant bien supérieurs à ceux d'un produit pétrosourcé. Et pour cause : notre société et son industrie chimique se sont développées à partir du carbone fossile, une matière première composée de molécules de structure simple, formées à base de carbone et d'hydrogène exclusivement. Jusqu'à présent, l'enjeu pour les industriels était de complexifier ces molécules en leur ajoutant de l'oxygène afin d'obtenir plus de diversité et des fonctionnalités plus nombreuses.

internationale. On peut citer la recherche et la conception de nouveaux catalyseurs et technologies plus adaptés, les progrès fulgurants réalisés récemment dans le domaine des biotechnologies, la caractérisation et l'élucidation de mécanismes réactionnels, la modélisation, le génie des procédés. Le caractère solide de la biomasse, alors que la pétrochimie est habituée à traiter principalement des produits liquides (pétrole) ou gazeux, est un autre défi : c'est pourquoi l'on recherche actuellement de nouveaux types de produits capables de dissoudre directement cette biomasse, en lieu et place des procédés utilisés aujourd'hui, très consommateurs d'eau et d'énergie.

Des performances à optimiser

Un autre défi pour les chimistes consiste à trouver des usages plus directs aux molécules complexes issues de la biomasse sans passer par la case simplification. Avec des cours du pétrole historiquement bas (mais jusqu'à quand ?), l'objectif n'est pas de produire des molécules similaires à celles existant sur le marché, mais de développer des produits renouvelables offrant des performances supérieures à celles des produits fossiles, condition sine qua non pour pénétrer le marché. C'est déjà ce qui se passe avec le THF, le tétrahydrofurane, utilisé en tant que solvant dans les procédés chimiques. Son « cousin » issu de la biomasse, la molécule plus complexe de méthyl-THF, possède des propriétés supérieures, notamment un point d'ébullition plus élevé lui permettant d'être plus largement utilisé que le THF dans les procédés d'extraction.

Pour avancer plus vite, rien ne vaut d'unir ses forces. En France, le réseau CNRS-Increase, tout juste créé, associe ainsi une vingtaine de laboratoires et d'industriels de la chimie pour faire de la biomasse une alternative crédible à la pétrochimie. Restera ensuite à convaincre le consommateur des bienfaits des cosmétiques et produits alimentaires élaborés à partir de déchets organiques... Les chimistes affûtent déjà leurs arguments. II

Libération

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

Avec la biomasse, on se retrouve dans la situation inverse : après raffinage, on obtient des molécules très complexes et fortement oxydées, qu'il va falloir simplifier, afin de pouvoir les utiliser comme matière première.

Ce changement d'approche implique une révolution de la chimie qui doit repenser l'ensemble de ses procédés afin de les adapter aux spécificités de la biomasse. Plusieurs gros projets sont ainsi à l'étude à l'échelle

1. Unité CNRS/Univ. de Poitiers.

Rendez-vous à l'Académie des sciences

En 1666, plusieurs savants se réunissent à l'initiative de Colbert et donnent naissance à l'Académie des sciences¹. Cette année, de nombreux événements sont au programme pour célébrer les 350 ans de la prestigieuse institution. Les 11, 12 et 13 septembre, par exemple, un colloque réunira de grands noms de la génétique pour faire le point sur les avancées, les espoirs et les questionnements de la

discipline. Le 4 octobre, l'intelligence artificielle sera le sujet d'une conférence-débat. Le 15 octobre, les rencontres « Speed Sciences », dont le CNRS est partenaire, permettront à cent jeunes de rencontrer cent scientifiques de renom. Et, en guise de clôture des célébrations, un duplex sera organisé le 6 décembre entre la Coupole et la Station spatiale internationale !

1. Lire à ce sujet la chronique de Denis Guthleben dans notre numéro précédent (p. 66).



© FRED34567/POTLIA.COM



Retrouvez tous les événements sur :

» www.academie-sciences.fr/fr/350



Mieux penser les interfaces informatiques

Michel Beaudouin-Lafon

Informaticien au Laboratoire de recherche en informatique¹

Nos interactions avec le monde numérique passent par des interfaces : hier le clavier et la souris, aujourd'hui les écrans tactiles, demain les gestes et la voix.

Concevoir des interactions simples et intuitives relève d'une science, l'interaction homme-machine (IHM). Il faut faire appel aux connaissances de la psychologie, mais aussi de la physiologie et de la sociologie pour créer des interfaces adaptées à nos capacités de perception, d'action et de cognition. Et il faut aussi prendre en compte la faculté d'adaptation de l'être humain. Face à un système inutilement compliqué mais dont nous avons besoin, nous allons nous adapter. Au point que, si on nous propose de le remplacer par un système plus simple, on ne voudra pas en changer car cela implique de réapprendre des automatismes.

Un concepteur d'interface est confronté à une myriade de possibilités qui vont affecter la qualité de l'interaction. Celle-ci va aussi dépendre d'aléas techniques et contextuels. Une interface efficace avec une souris peut par exemple devenir rebu- tante sur un écran tactile. Concevoir pour

des usages et dans des conditions non prévus, voilà le défi ! Ainsi, au lieu de juger les logiciels sur leur nombre de fonctionnalités – dont la majorité des utilisateurs ne connaissent qu'une infime partie –, il vaudrait mieux mettre l'accent sur leur utilisabilité et sur le respect de règles de base : montrer l'état du système, rendre visibles les dépendances, utiliser des actions simples pour les commandes courantes...

Mais faire simple n'est pas suffisant. Lorsque l'on utilise régulièrement un logiciel, on veut pouvoir devenir expert. Là encore, les logiciels actuels sont source de frustration : ou bien ils sont limités, ou bien ils demandent un apprentissage fastidieux. Sans compter les changements de version qui obligent à réapprendre ce que l'on sait déjà faire... Un outil puissant, c'est un outil qu'on peut façonner à sa main. Or le logiciel ne fait que ce pour quoi il a été programmé. On peut aisément coller une image dans un cahier en papier, mais essayez de mettre une image dans un logiciel qui ne connaît que le texte ! Il nous faut des logiciels – et des interfaces – plus malléables, plus modulaires.



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

Alors que le coût du logiciel est essentiellement un coût de conception, comment se fait-il qu'un seul traitement de texte ait acquis un quasi-monopole ? Comment imaginer qu'un seul logiciel puisse être optimisé pour la secrétaire qui tape des mémos, l'écrivain qui écrit un roman, le scientifique qui rédige un article ou le spécialiste qui écrit une note technique ? Plutôt qu'un couteau suisse qui permet de faire un peu tout, mieux vaudrait pouvoir choisir une sélection d'outils optimisés pour un usage défini.

Alors que pouvons-nous faire, nous, utilisateurs de ces logiciels ? Nous devrions d'abord exiger l'interopérabilité pour ne plus être prisonnier d'un éditeur de logiciel, d'une application ou d'un service en ligne. Rappelons que les interfaces actuelles n'ont presque pas changé depuis trente ans ! Nous devrions aussi exiger que les essais des logiciels évaluent leur utilisabilité. Le benchmark d'un processeur n'a aujourd'hui aucun intérêt pour un ordinateur de bureau ou un portable. Mais un benchmark du temps qu'il faut pour renommer 50 fichiers, importer les photos de son smartphone ou faire un mailing personnalisé avec un attachement serait sans doute très instructif. Ce que les éditeurs de logiciels doivent comprendre, c'est qu'il leur faut concevoir des interactions, pas seulement des interfaces, il leur faut créer des usages, pas seulement implémenter des listes de fonctionnalités. II

1. Unité CNRS/Univ. Paris-Sud.



Blockchain : l'autre révolution venue du bitcoin

Ricardo Pérez Marco

Mathématicien au Laboratoire analyse, géométrie et applications¹

Les développements des applications cryptographiques sont un moteur pour le développement de l'économie numérique. Ils ont permis la sécurisation des communications, l'authentification des documents informatiques, la protection de données sensibles. Tout cela a permis l'essor d'activités économiques comme la banque ou le commerce en ligne. Mais, plus récemment, on a vu apparaître un nouveau type d'applications qui promet une révolution d'ampleur inédite : les protocoles de confiance décentralisés. Tout a commencé par l'invention de Bitcoin. Le bitcoin, créé en 2009, est la première monnaie électronique décentralisée. Personne ne contrôle sa création ou son émission, et aucun gouvernement ni banque centrale n'a le pouvoir de bloquer les fonds d'un compte en bitcoin. N'importe qui peut créer son propre compte en bitcoin de façon anonyme et autonome sans avoir à se connecter à un service tiers. En fait, il suffit de jouer à pile ou face 256 fois pour, à partir de ces 256 bits, générer une adresse bitcoin totalement fonctionnelle susceptible de recevoir et de transférer des bitcoins.

Des transactions ultra-sécurisées

Il existe heureusement des logiciels qui créeront autant d'adresses bitcoin que vous le souhaitez et se chargeront ensuite de gérer vos transactions. Le protocole Bitcoin permet en effet de transférer de l'argent de façon sécurisée et sans intermédiaire sur des réseaux non sécurisés, et ce avec un niveau de sécurité de plusieurs ordres de grandeur supérieur à celui de Visa. Derrière ce tour de force, il y a la technologie blockchain, à la base du protocole.



Comment cela fonctionne-t-il ? L'idée consiste à entretenir et à diffuser une base de données publique (la blockchain) qui récapitule toutes les transactions en bitcoin validées depuis l'émission des 50 premiers bitcoins, le 3 janvier 2009. C'est précisément l'exhaustivité de ce livre de compte qui permet à tout moment de savoir quel bitcoin appartient à quel compte. En effet, chaque membre du réseau Bitcoin ayant accès à une copie de la blockchain, chacun est donc en mesure, en remontant l'histoire des transactions passées, de déterminer si une transaction est valide ou pas.

L'algorithme garantit la validité des transactions tant que la majorité des agents sont honnêtes.

Ce réseau de confiance, tout le monde peut y contribuer, la seule condition pour le rejoindre étant d'installer sur sa machine un logiciel qui allouera de la puissance de calcul pour contribuer à la vérification des transactions. Le principe est le suivant : les transactions en cours sont retransmises publiquement dans le réseau Bitcoin où les « validateurs » (ou « mineurs »² dans le vocabulaire du bitcoin) les vérifient et les regroupent en

blocs qui doivent ensuite être validés pour être intégrés à la blockchain. Le problème qui se pose alors est d'éviter que des agents malhonnêtes ne corrompent le système en validant des transactions fictives ou illégales, comme dépenser deux fois le même bitcoin.

La solution est d'utiliser une « preuve de travail » (*proof of work* en anglais), une procédure qui consiste à lier la validation d'un bloc à la résolution d'un problème mathématique difficile basé sur une fonction cryptographique et portant sur les données de ce bloc. Le premier mineur qui obtient la solution est récompensé par les nouveaux bitcoins créés à chaque validation de bloc. La chance de résoudre un bloc, et d'empocher les bitcoins créés, est ainsi proportionnelle à la puissance de calcul apportée par le mineur. Une fois la solution obtenue, elle est inscrite dans le bloc et les autres mineurs n'ont plus qu'à la vérifier et approuver – ou rejeter si la solution est invalide – l'ajout du nouveau bloc de transactions à la blockchain.

On notera que, comme c'est souvent le cas pour les fonctions cryptographiques, cette vérification réclame infiniment moins de puissance de calcul et donc de temps que la découverte de la solution : il est par exemple beaucoup plus facile de vérifier que 53 multipliés par 113 font bien 5 989 que de retrouver les facteurs qui permettent de générer 5 989. Cette dissymétrie entre validation et vérification, combinée au caractère ouvert, décentralisé et massivement

1. Unité CNRS/Univ. Paris 13/Univ. Paris 8. 2. Le terme de mineur a été choisi par analogie avec les exploitants des mines d'or du temps où la valeur des monnaies était déterminée par leur équivalent or : la preuve de travail numérique constituant ici l'équivalent du travail nécessaire à l'extraction du métal précieux.

distribué du réseau, rend ainsi quasiment impossible pour un agent ou un organisme malveillant l'introduction de transactions illégales. Au bout du compte, on dispose d'un algorithme mathématique qui garantit la validité des transactions tant que la majorité des agents sont honnêtes.

Un fichier incorruptible

Cette robustesse du protocole s'incarne dans la blockchain, un fichier qui rassemble donc l'ensemble des blocs validés. Celle-ci est incorruptible car, pour la falsifier, il faudrait déployer la totalité de la puissance de calcul qui a été utilisée pour valider chacun de ses blocs. Une tâche virtuellement impossible au vu de la puissance actuelle du réseau Bitcoin, qui dépasse aujourd'hui les 15 millions de PetaFLOPS ; sachant que l'ordinateur actuel le plus puissant tourne à quelques dizaines de PetaFLOPS.

Ce fichier incorruptible peut ainsi être utilisé non seulement pour vérifier la validité des transactions bitcoin, mais aussi pour authentifier, certifier et dater des actes ou des documents qui nécessitent une autorité de confiance. Le protocole permet en effet d'insérer dans chaque transaction bitcoin une empreinte électronique unique pour n'importe quel document digital, et donc d'attester de son existence sans recours à un notaire professionnel. On peut ainsi incruster dans la blockchain l'empreinte du texte « Bob a rejoint l'équipe A » ; celui-ci y restera pour toujours et servira de preuve d'existence de l'acte.

Certaines universités ont déjà commencé à utiliser la blockchain pour authentifier les diplômes délivrés à leurs étudiants. Le premier dans le monde à le faire a été le pôle universitaire Léonard de Vinci, à Paris. Tous les services dépendant d'une autorité de confiance – qu'il s'agisse des services d'achat et vente ou enchères, des offices notariaux, des compagnies d'assurances, etc. – commencent à s'intéresser à cette technologie. En ce sens, Bitcoin constitue une innovation de rupture et un parfait exemple de l'impact révolutionnaire que peuvent avoir sur l'activité économique les recherches fondamentales en mathématiques, en cryptographie et en informatique. **II**

À lire

ART

Dans son nouvel ouvrage, la sociologue Séverine Sofio se penche sur la place des femmes dans la communauté artistique parisienne entre 1750 et 1850. Cette période est marquée par l'intégration et la reconnaissance progressives des femmes dans le domaine des beaux-arts ; un phénomène qui va de pair avec une démocratisation du métier d'artiste et une importance grandissante des salons, véritables plaques tournantes dans le cercle très fermé des artistes et des collectionneurs parisiens. La féminisation des beaux-arts est provisoire et ne constitue qu'une parenthèse de l'histoire, mais elle représente un réel changement face à la misogynie et aux stéréotypes de genre persistant dans le monde de l'art, qui distingue traditionnellement la « vocation artistique » et la « vocation domestique ». Professionnelles ou amatrices, les femmes artistes s'émancipent.

Artistes femmes. La parenthèse enchantée, XVIII^e-XIX^e siècles, Séverine Sofio, CNRS Éditions, mai 2016, 364 p., 25 €



HUMANITÉ

Ces vingt dernières années, les nombreuses découvertes de nouveaux fossiles et la multiplication des analyses paléogénétiques ont bouleversé les conceptions trop simples que nous avions sur les origines et l'évolution de l'espèce humaine. Dans cet ouvrage, le journaliste scientifique Sylvestre Huet interroge et fait dialoguer un préhistorien, deux paléoanthropologues et une philosophe des sciences sur les réponses que les scientifiques peuvent apporter sur cette question des origines que tentent aujourd'hui de s'approprier certains.

Origines de l'humanité : les nouveaux scénarios, José Braga, Claudine Cohen, Bruno Maureille et Nicolas Teysandier, La ville brûle, mai 2016, 208 p., 20 €

VIOLENCE

S'il est vrai que la question des violences conjugales n'a pris son importance actuelle qu'à la suite des combats féministes des années 1970-1980, on aurait tort de penser que notre époque a été la première à réprimer ces violences et à les punir. En s'appuyant sur les archives judiciaires, l'historienne du droit Victoria Vanneau démontre que le XIX^e siècle, bien qu'il ait consacré la soumission juridique de la femme à son mari, a su faire de ces violences un fait de droit et non un fait de société, et qu'il les réprimait finalement plus qu'aujourd'hui.

La Paix des ménages. Histoire des violences conjugales XIX^e-XXI^e siècle, Victoria Vanneau, Anamosa, mars 2016, 366 p., 24 €

En ligne

La médiation se réinvente



► Les YouTubeurs Manon Bril, Droupix et Léo Grasset, aux côtés du journaliste scientifique Mathieu Rouault.

Avec l'essor des réseaux sociaux et des sites de partage, de nombreux chercheurs ont trouvé avec le numérique de nouvelles manières de s'adresser au grand public. Le 31 mai s'est tenu sur ce sujet le Forum des Nims (Nouvelles initiatives en médiation scientifique), organisé par le CNRS et l'université de Bordeaux. De la YouTubeuse Manon Bril au scientifique Sylvain Deville, très actif sur Twitter, de nombreux acteurs de la médiation ont discuté de ces pratiques innovantes et des nouveaux modes de narration de la recherche.



Toutes les interventions sont à revoir sur le site du forum

» www.cnrs.fr/forum-nims/

Laurent Maget, cinéaste anthropologue au laboratoire Éco-anthropologie et ethnobiologie¹

“Je me souviens...”

PROPOS RECUEILLIS PAR ANNE-SOPHIE BOUTAUD

... de ma mission en forêt équatoriale, au sud-est du Cameroun, à 50 kilomètres de Lomié. C'était le début de la grande saison sèche chez les Pygmées Baka, en juin 2015. La troupe de femmes et d'enfants a quitté le village à l'aube pour récolter les fruits mûrs. Le sol avait été nettoyé depuis des jours autour d'un grand manguier sauvage. En quelques minutes, des dizaines de kilos de mangues sont ramassés. Commence alors le travail d'extraction de l'amande oléagineuse, trésor nutritif et source de revenus pour ces populations. La pâte obtenue à partir des amandes est l'un des très rares produits de transformation réalisés par les Baka et fait l'objet d'un véritable négoce. Jusqu'au mois de septembre, les familles établiront des campements pour de longs

séjours en forêt. C'est une période de travail et de joie qui arrive au moment des vacances scolaires. Semi-nomades, semi-sédentaires, les Pygmées Baka vivent dans un équilibre précaire face au monde moderne, entre la menace de la déforestation et le regard, voire le rejet, de la part des autres populations. Chaque année, je les rejoins pour relater, avec eux, le film de ces bouleversements. Mon travail est un travail d'anthropologie visuelle : j'observe leurs activités quotidiennes sans trop entrer dans leur intimité.”

PHOTO : L. MAGET/EAE/CNRS PHOTOTHÈQUE



Visionner notre diaporama
« Pygmées, opération mango »
sur lejournal.cnrs.fr

1. Unité CNRS/MNHN/Univ. Paris Diderot.





de Denis Guthleben,
historien au CNRS

Les crédits de la science

Le budget de la recherche vient de défrayer la chronique, alors pourquoi ne pas lui en consacrer une de plus ? Voilà la garantie de faire œuvre pérenne : si un sujet traverse l'histoire de part en part, c'est bien celui-là ! En route pour quelques exemples, qui apportent du relief à l'actualité...

« La misère de nos laboratoires »

1868. Louis Pasteur observe avec inquiétude la mobilisation savante outre-Rhin : « L'Allemagne s'est couverte de vastes et riches laboratoires, et chaque jour en voit naître de nouveaux. » Et, quand il regarde chez nous, son inquiétude grandit : « Oserai-je parler des ressources pécuniaires et matérielles des laboratoires français ? Qui voudra me croire quand j'affirmerai qu'il n'y a pas, au budget de l'instruction publique, un denier affecté au progrès des sciences physiques. » Dans la foulée, l'éminent savant et quelques confrères non moins illustres – Claude Bernard, Henri Milne-Edwards et Henri Sainte-Claire Deville... – sont reçus aux Tuileries, où Napoléon III leur affirme son soutien. Des réformes sont engagées... mais patatras ! Le Second Empire s'écroule à Sedan, arrachant à Pasteur une plainte déchirante : « Ô ma patrie ! Toi qui as tenu pendant si longtemps le sceptre de la pensée, pourquoi t'être désintéressée de tes plus nobles créations ? »

La III^e République, heureusement, reprend le flambeau. Le porte-t-elle aussi haut qu'on l'a dit parfois ? Pas sûr, si l'on en croit l'historien – il faut toujours croire les historiens – Ferdinand Lot en 1905 : « Évidemment, on peut dire que certaines personnes trouvent toujours moyen de se plaindre ; et pourtant, si l'on examine les

budgets de chaque laboratoire, on ne peut pas ne pas être frappé de la parcimonie mesquine à l'égard de notre enseignement supérieur. » Même constat, après qu'une guerre mondiale est passée par là, pour le chimiste – il faut toujours croire les chimistes aussi ! – Charles Moureu, qui évoque au début des années 1920 la « détresse budgétaire » de nos laboratoires, dans le cadre d'une campagne à laquelle Maurice Barrès – lui, on le croit si l'on veut... – a prêté sa plume et sa voix : « La misère de nos laboratoires est quelque chose de prodigieux », « cette misère est indigne de la France, indigne de la science » !

« Donnez-moi tout ! »

Enfin survient Jean Perrin... et tout s'arrange ? Pas tout à fait : avant d'aboutir à la création du CNRS, notre père fondateur a dû faire des pieds et des mains. On retiendra parmi bien d'autres actions sa « Pétition pour la recherche scientifique » en 1933, qui porte la signature de huit Prix Nobel – un chiffre qui n'est pas sans évoquer une actualité plus récente... Ou sa confrontation en 1936 avec le ministre des Finances Vincent Auriol, dans ce qui a sans doute été le « dialogue de gestion » le plus culotté de toute l'histoire du CNRS : « Monsieur le Ministre, je ne veux pas marchander : donnez-moi tout ! »

Une autre guerre mondiale passe par là, et l'histoire se répète déjà : en 1947, deux patrons du CNRS, Frédéric Joliot-Curie, qui vient d'en quitter la direction, et Georges Teissier, qui a pris sa succession, montent au créneau – là aussi, on reconnaîtra une actualité plus récente... Constatant que les crédits consacrés cette année-là à l'équipement scientifique du pays sont misérables, ils prédisent dans un manifeste la disparition « de certaines branches de la science » et la transformation de la France en « une colonie de l'étranger », avant de conclure : « C'est un cri d'alarme que nous jetons »... et qui finira par être entendu jusqu'au sommet de l'État.

Et il ne s'agit là que d'une toute petite poignée d'exemples : il y en a dix, cent, mille de plus à fournir, à toutes les époques. Un dernier pour la route : « Il ne se produira guère de progrès majeurs dans la découverte de la nature sauf si les crédits sont alloués pour les dépenses afférentes aux expériences. » Vous pariez sur une tribune parue dans la presse en 2016 ? Perdu ! Il s'agit d'un extrait *Du progrès et de la promotion des savoirs*, que le scientifique et philosophe anglais Francis Bacon a écrit voilà plus de 400 ans... II

“Ô ma patrie ! Toi qui as tenu pendant si longtemps le sceptre de la pensée, pourquoi t'être désintéressée de tes plus nobles créations ?”

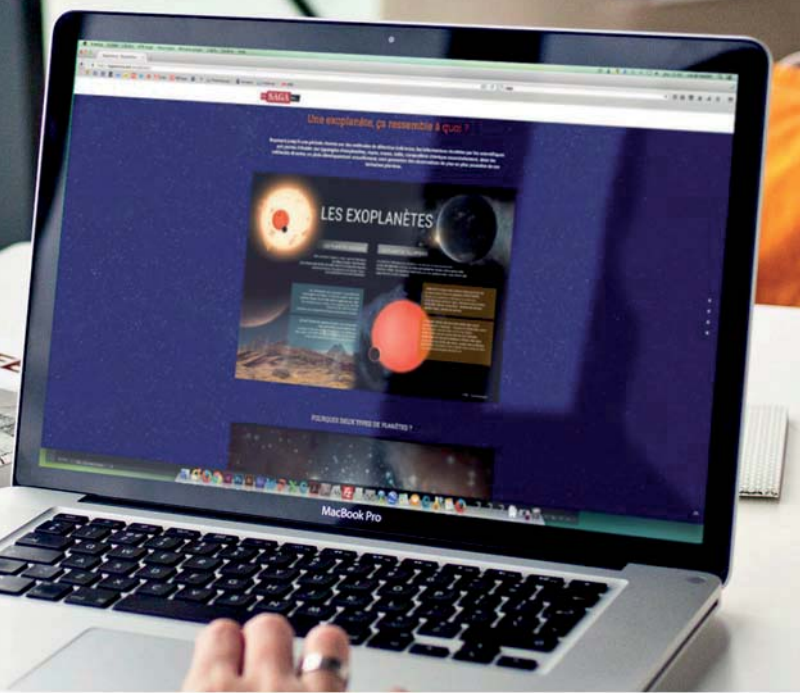
EXOPLANÈTES

À la recherche
de nouveaux mondes ?

LA **SAGA** DE...

Une nouvelle déclinaison
de la collection CNRS/sagascience

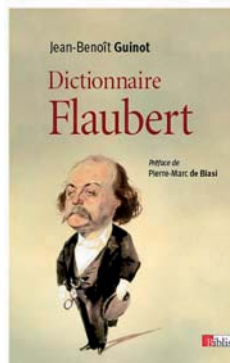
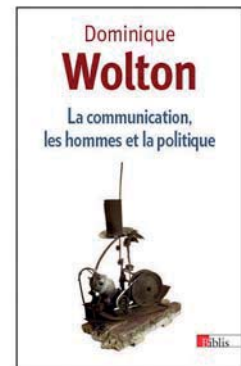
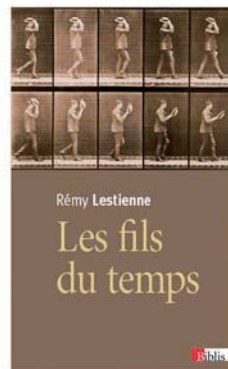
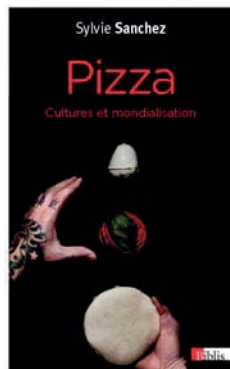
© CNRS, Imnek-Tuz / Graphie-Banger



À retrouver sur
www.cnrs.fr/exoplanetes
et également sur CNRS le Journal et CNRS News

Biblis

La collection poche
de CNRS EDITIONS



Retrouvez tous les titres de la collection Biblis
sur www.cnrseditions.fr

LE FORUM
DU CNRS

Que reste-t-il à découvrir ?

LILLE
CITÉ DES ÉCHANGES
18 ET 19 NOVEMBRE 2016



www.cnrs.fr

#ForumCNRS
leforum.cnrs.fr