

**ENVIRONNEMENT**  
ET AU MILIEU NE COULE  
PAS TOUJOURS UNE RIVIÈRE  
→ PAGE 2



**PSYCHIATRIE**  
UNE MOLÉCULE POUR APAISER  
LES SOUVENIRS TRAUMATIQUES  
→ PAGE 3



**PORTRAIT**  
MICHEL CABARET  
MET LA SCIENCE EN SCÈNE  
→ PAGE 7



## La grippe aviaire sous haute surveillance

Pour enrayer l'épizootie qui sévit dans des élevages du sud-ouest de la France, de nouvelles mesures sanitaires sont entrées en vigueur, lundi 18 avril. Les chercheurs, eux, tentent de décrypter le fonctionnement d'un virus, dont les capacités de mutation font redouter qu'il ne s'adapte à l'homme.

PAGES 4-5



Des canards élevés en plein air, dans une ferme du sud-ouest de la France. FRANCIS LEROY/HEMIS/CORBIS



CARTE BLANCHE

**Nicolas Gompel,  
Benjamin  
Prud'homme**

Généticiens,  
LMU de Munich, Institut  
de biologie du développement  
de Marseille-Luminy (CNRS)

## Carpaccio paléolithique

**A** lors que les végétariens de tous bords poussent les consommateurs de viande dans leurs retranchements d'espèce omnivore, la science s'intéresse à nos origines carnivores. Les paléanthropologues Katherine Zink et Dan Lieberman, de l'université de Harvard, viennent de publier dans la revue *Nature* du 24 mars une étude sur la façon dont nos lointains ancêtres ont commencé à consommer de la viande. Un tournant qui a influencé notre évolution anatomique.

Nous descendons assurément de singes herbivores, qui passaient le plus clair de leur temps, tout comme les grands singes d'aujourd'hui, à mastiquer des feuilles. Ce régime alimentaire est, entre autres, rendu possible par une puissante mâchoire et de grosses prémolaires. Les menus se diversifient dans le genre *Homo* il y a environ 2,6 millions d'années avec l'introduction de la viande. Celle-ci apporte certes bien plus de calories que les feuilles, mais elles sont difficiles à extraire. Or paradoxalement, *Homo erectus*, pourtant consommateur de viande accompli, présentait déjà une réduction sérieuse de l'appareil

masticateur et de la taille des dents. Comment ces premiers hommes carnivores s'y prenaient-ils pour extraire les calories de la viande avec leurs petites dents ? La découverte du feu et son usage en cuisine pour cuire et attendrir la viande ont certainement aidé. Mais son usage ne s'est généralisé que plus tard, quand la viande était déjà une constante au menu d'*Homo erectus*.

Zink et Lieberman ont voulu savoir si l'utilisation d'outils en pierre, apparus avant le feu, pouvait avoir contribué à rendre la viande crue ingérable, en réduisant les efforts nécessaires à sa mastication. Pour ce faire, ils ont tout d'abord donné à mastiquer à des volontaires de la chèvre crue, dont la chair ferme est proche du type de viande à laquelle nos ancêtres avaient accès. Mais sans traitement préalable, cette viande crue est presque impossible à découper en morceaux ingérables avec nos petites dents.

En revanche, en découpant la viande avec des outils, et en l'apprêtant pour l'attendrir, l'effort de mastication nécessaire pour qu'elle devienne ingérable est réduit de 17 %. Et plus encore si cette viande est cuite.

Un scénario évolutif se dessine : l'usage d'outils, et plus tard du feu, pour apprêter et consommer la viande aurait permis d'extraire davantage de calories tout en diminuant l'énergie et le temps de mastication nécessaires. En conséquence, les individus dotés de dents plus petites et de mâchoires moins fortes ont survécu tout aussi bien que leurs congénères (résultat de ce que les évolutionnistes appellent le relâchement d'une contrainte sélective). Cette réduction de la taille des mâchoires a modifié la forme de la face, permettant l'apparition de lèvres plus mobiles, essentielles pour former des mots.

On perçoit ainsi de quelle manière de nouvelles pratiques culturelles, tel l'usage d'outils, ont permis l'évolution progressive de notre anatomie et la modification en profondeur de notre identité biologique. Comment les développements technologiques que nous vivons vont-ils à leur tour influencer notre évolution future ? Nous en remettons de plus en plus aux machines pour nous déplacer ou penser à notre place n'est sans doute pas sans conséquence sur notre destin biologique. ■

# Rivières intermittentes : la pêche aux données

**ÉCOLOGIE** | Sur la planète, la moitié des cours d'eau s'assèchent une partie de l'année. Pour étudier le rôle dans l'environnement de ces milieux mal connus, deux chercheurs ont lancé un réseau mondial de collectes d'échantillons

DAVID LAROUSSIERE

Chaque discipline a ses continents d'ignorance. Les physiciens ne connaissent pas la nature de 95 % de l'Univers. Les biologistes se demandent à quoi sert 98 % de l'ADN qui ne code pas pour des protéines. Et les écologues s'interrogent sur le rôle dans l'environnement d'au moins 30 à 50 % de certaines rivières, et jusqu'à 70 % dans certains pays comme l'Australie. Ces inconnues couvrant de si grandes proportions désignent les cours d'eau intermittents, qui, une partie de l'année, cessent de s'écouler ou s'assèchent de manière naturelle, ou parfois en réponse aux pressions humaines. « Les sept plus grands fleuves du monde en font partie, le Nil, le rio Grande, l'Indus... Le Colorado n'atteint plus la mer depuis les années 1970. Le fleuve Jaune, en Chine, est sec 600 kilomètres avant l'embouchure, une partie de l'année », rappelle Thibault Datry, de l'Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea) à Lyon, devenu l'un des spécialistes de ce sujet méconnu. « Ces rivières ont été complètement négligées jusqu'à récemment », confirme Klement Tockner, autre spécialiste, directeur de l'Institut Leibniz d'écologie aquatique et de la pêche (IGB), à Berlin.

Le sujet compte plus de questions que de réponses. Et d'abord, quelle est la véritable proportion de ces rivières intermittentes ? Quels effets a cette inconstance sur la biodiversité aquatique et terrestre et les interactions entre ces écosystèmes ? Quel rôle jouent ces intermittences d'écoulement dans le cycle du carbone, la phase sèche décomposant moins vite a priori la biomasse que la phase humide ? Comment gérer ces cours d'eau, dont la définition échappe en fait aux différents règlements nationaux et européens en la matière ?

Pour toutes ces raisons et bien d'autres, Thibault Datry et Klement Tockner ont lancé en 2015 le projet original « 1000 rivières intermittentes ». « 1000 rivières et 1000 mails ! », sourit le Français en se rappelant les efforts pour

**« Ces rivières sont des écosystèmes de grande valeur et pas des décharges, comme on les considère souvent »**

KLEMENT TOCKNER

directeur de l'Institut Leibniz d'écologie aquatique

convaincre des collègues et répondre à leurs questions. Pourtant l'idée est simple : collecter un maximum d'échantillons dans les lits de rivière afin d'estimer leur contenu biologique et leur réactivité biogéochimique sur une large échelle dans le monde. En mars, 106 personnes avaient déjà participé, couvrant 27 pays, dont l'Algérie, l'Australie, la Bolivie, les Etats-Unis, la Nouvelle-Zélande, la Suisse... Des dizaines de petites poches plastique contenant soit des feuilles, soit

des sédiments s'entassent dans des caisses dans le laboratoire lyonnais de l'irstea, destinataire de ce grand mouvement participatif et bénévole.

La première expérience est simple à réaliser. Une pincée de feuilles de chaque échantillon est mise dans un peu d'eau minérale pendant une journée. La disparition de l'oxygène dissous et le dégagement de CO<sub>2</sub> sont alors mesurés : c'est un indicateur de l'activité biologique des bactéries et champignons présents, qui consomment cette matière organique. En Allemagne et en Espagne, des mesures complémentaires plus complexes seront effectuées sur le contenu en carbone, mais aussi en azote ou en phosphore. A Grenoble, c'est l'ADN présent dans ces échantillons qui est séquencé.

De quoi permettre de premières comparaisons à l'échelle mondiale et estimer le rôle de ces rivières dans le cycle du carbone ou dans l'organisation de la biodiversité, encore mal pris en compte dans les modèles climatiques. « En aucun cas, il ne s'agit de rivières mortes. C'est plein de vie ! », assure Klement Tockner. *Beaucoup d'espèces dépendent même de cette phase sèche.*

Si, pour les rivières en eau, des indicateurs de bonne santé existent, basés sur la présence de certains invertébrés, ce n'est pas encore le cas pour les rivières intermittentes. « Nous ne savons pas ce que deviennent ces communautés

lorsque la rivière s'assèche. Nous avons par ailleurs identifié différentes stratégies d'espèces adaptées à l'intermittence. Soit elles résistent à l'assèchement (respiration par la peau, enfouissement dans la vase, mise en dormance), soit elles sont dites résilientes, c'est-à-dire qu'elles reviennent très rapidement en provenance de refuges », indique Thibault Datry.

D'autres aspects sont désormais connus. Comme par exemple, des morts subites d'espèces aquatiques à la suite de la remise en eau d'une rivière à sec. Cela est dû à l'arrivée soudaine dans des affluents de biomasse non décomposée lors d'une phase sèche. Ce festin réveille les microscopiques espèces gloutonnes qui consomment l'oxygène aux dépens des poissons, notamment Marie-George Tournoud, professeure à l'université de Montpellier, a également noté une autre conséquence négative de ces assèchements. « Cela peut créer en aval des chocs de pollution, à cause de rejets surchargés de contaminants. Nous réfléchissons aux moyens de mieux gérer ces chocs ou de les prévenir », complète la chercheuse.

L'équipe de Thibault Datry a aussi récemment montré qu'il fallait gérer avec prudence les cours d'eau intermittents. Diminuer de 50 % la durée d'immersion réduit de 43 % la dégradation des feuilles mortes et aussi de moitié la biodiversité aquatique en invertébrés : « Nous

sommes régulièrement sollicités par des agences de l'eau ou des pêcheurs pour connaître l'impact de la durée et de la fréquence des assèchements, mais nous n'avons pas encore toutes les réponses. » De son côté, Klement Tockner, dans un article paru en 2012, listait d'innombrables avantages de ces rivières, « biodiversité unique, refuge pour les graines et les œufs, corridor de migration, réservoir de matière organique... ». « Pour nous, ce sont des écosystèmes de grande valeur et pas des décharges, comme on les considère souvent », indique-t-il. « C'est beau, une rivière qui ne coule pas, contrairement à ce qu'on peut dire », confesse Thibault Datry.

« Nous manquons d'eau minérale », fait-il mine de tempêter dans son laboratoire, devant l'afflux d'échantillons à tester. Avec son collègue Arnaud Foulquier, de l'université de Grenoble, il envisage de donner une suite au projet : déposer dans ces rivières des bandes en bois ou en coton pour étudier la vitesse de biodégradation. Il s'occupe en même temps de projets européens et de fédérer les recherches en cours. Il alimente aussi une base de données mondiale concernant ces rivières. Et envisage de créer une application pour mobile permettant à tous de signaler des cours d'eau à sec. « Nous construisons un vaste réseau mondial qui devrait faciliter les coopérations et travaux futurs », ajoute Klement Tockner. Petite rivière deviendra grande. ■



La Clauge, en eau à l'automne, puis sèche au printemps, à Chissey-sur-Loue, dans le Jura. B. LAUNAY

## L'aspirine prévient aussi des cancers

Des experts américains ont identifié les personnes pour lesquelles la prise quotidienne de ce médicament est le plus bénéfique

L'aspirine peaufine ses métamorphoses. La dernière émane d'un groupe d'experts américain respecté, le US Preventive Services Task Force (USPSTF). Le 12 avril, il a publié ses recommandations sur l'utilisation préventive au long cours de faibles doses d'aspirine (75 à 160 milligrammes par jour) : l'enjeu, ici, est de limiter la survenue d'accidents cardio-vasculaires (infarctus, AVC...), mais aussi de cancer colorectal, chez celles ou ceux qui ne souffrent pas déjà d'une maladie cardio-vasculaire. Cette prévention dite « primaire » s'adresse toutefois aux personnes qui ont un risque accru de faire un accident cardio-vasculaire : elles sont diabétiques ou cumulent plusieurs facteurs de risque (tabac, hypertension, âge...).

« Pour la première fois, la prévention du risque de cancer colorectal

est reconnue comme un bénéfice secondaire, quoique modeste, d'un traitement par l'aspirine qui vise d'abord à prévenir le risque cardio-vasculaire », résume Gabriel Steg, cardiologue à l'hôpital Bichat (Paris). Il souligne aussi la prudence des experts américains : par rapport à 2009, ces recommandations restreignent un peu l'utilisation de l'aspirine en prévention primaire, en raison du risque de saignements liés à ce traitement. « Les patients à faible risque cardio-vasculaire ne bénéficient pas d'un tel traitement », commente Gabriel Steg. *Leur pronostic peut même être aggravé en raison d'hémorragies, même de gravité modérée.*

Les experts de l'USPSTF ont colligé les données de nombreux essais cliniques, en y ajoutant les résultats de cinq études parues depuis 2009. Ils ont aussi pris en compte les données de suivi de

risque de cancer colorectal, notamment celles des travaux du Britannique Peter Rothwell. Puis, à l'aide d'un modèle de microsimulation, ils ont chiffré les bénéfices et les risques de ce traitement selon les tranches d'âge et le niveau de risque cardio-vasculaire.

**Pour les 50-59 ans**

Résultats : le bénéfice apparaît maximal pour les 50-59 ans. Plus précisément, l'USPSTF recommande l'aspirine à faibles doses chez les 50-59 ans dont le risque cardio-vasculaire à dix ans est supérieur ou égal à 10 %, du moment qu'ils n'ont pas de risque accru de saignements, que leur espérance de vie est d'au moins dix ans et qu'ils sont prêts à suivre ce traitement pendant au moins dix ans. Pour les 60-69 ans dans la même situation, la décision est à prendre au cas par cas. Aucun bénéfice net

n'apparaît au-dessous de 50 ans, et les données sont insuffisantes pour les plus de 70 ans.

Chez les 50-59 ans, les bénéfices ont été chiffrés : par exemple, pour 10 000 hommes de cette tranche d'âge qui ont un risque cardio-vasculaire de 10 % sur dix ans, l'aspirine évite 225 infarctus, 84 accidents vasculaires cérébraux ischémiques et 139 cancers colorectaux. C'est au prix de 284 saignements digestifs sérieux et de 23 hémorragies cérébrales. Au final, 588 années de « vie de qualité » et 333 années de vie sont ainsi gagnées.

« Ces recommandations devraient permettre de mettre en place une prévention primaire plus adaptée au risque. On passerait ainsi d'une prévention "prêt-à-porter" à une prévention "sur mesure" », estime Joseph Emmerich, responsable de l'unité de médecine cardio-

vasculaire de l'Hôtel-Dieu (Paris). Mais on sait qu'outre-Atlantique le risque cardio-vasculaire est supérieur au risque français moyen ; et l'utilisation de l'aspirine à titre préventif est bien plus répandue, notamment en raison d'une automédication fréquente. « Près de 40 % des Américains de plus de 50 ans prennent de l'aspirine en prévention cardio-vasculaire », signale l'USPSTF. C'est énorme. En France, la proportion de patients sous aspirine au long cours sans avoir jamais fait d'infarctus ni eu d'angioplastie ou de pontage est très faible, « inférieure à 5 % », estime Gabriel Steg.

« C'est intelligent d'avoir réuni les bénéfices de l'aspirine pour la prévention du risque cardio-vasculaire et de cancer colorectal. Dans certains cas, l'intérêt sur la prévention de ce cancer peut faire pencher la balance en faveur de ce traitement »,

dit Joseph Emmerich. En revanche, l'intérêt de l'aspirine pour prévenir le seul risque de cancer colorectal n'est ici pas reconnu. « Il faudrait disposer des résultats d'essais randomisés prospectifs en population générale », commente Fabien Calvo, directeur scientifique du consortium Cancer Core Europe à Gustave-Roussy (Villejuif). « Ces essais ne viendront sans doute jamais, car trop chers et pas assez rentables pour l'industrie, estime François Chast, chef du service de pharmacie clinique des hôpitaux universitaires Paris-Centre. Pour autant, cette recommandation s'engage positivement : les auteurs indiquent que la prise de 75 mg et plus d'aspirine pendant dix à vingt ans peut diminuer jusqu'à 40 % le risque de cancer colorectal. » Pas au point de la préconiser chez tous, cependant. ■

FLORENCE ROSIER

# Soigner le stress post-traumatique

MÉDECINE | Un traitement canadien innovant, associant psychothérapie et médicament, va être proposé à des victimes des attentats du 13 novembre 2015. Un appel à volontaires est lancé

SANDRINE CABUT

C'est une étude de terrain sans précédent sur l'état de stress post-traumatique (ESPT) qui se lance dans une dizaine d'hôpitaux franciliens. Objectif : évaluer une thérapie innovante, associant une psychothérapie et un médicament – le propranolol –, chez des personnes souffrant de stress post-traumatique, principalement à la suite des attentats du 13 novembre 2015. Le professeur Alain Brunet, directeur de recherche en psychotraumatologie à l'université McGill de Montréal (Canada), à l'origine de cette stratégie, et le professeur Bruno Millet (psychiatre à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière), qui coordonne l'essai, espèrent recruter plus de 400 volontaires. Les grandes lignes du projet, baptisé Paris MEM, ont été présentées le 13 avril au Centre culturel canadien, à Paris.

Reviviscences répétées de l'événement traumatisant, avec flashback et cauchemars; stratégies d'évitement des situations et des lieux pouvant rappeler le traumatisme; perte d'intérêt pour les activités auparavant appréciées; état de tension permanent avec anxiété, insomnie... L'ESPT est un trouble très handicapant, qui peut se déclarer des mois voire des années après le traumatisme. Il est as-



YASMINE GATEAU

ont pour but de prévenir ces séqueles psychiques. Le traitement d'un ESPT diagnostiqué fait, lui, appel en première intention à des psychothérapies. Deux techniques sortent du lot : les thérapies cognitivo-comportementales axées sur le traumatisme et l'EMDR (« Eye movement desensitization and reprocessing »). Certains antidépresseurs sont également autorisés. « Ces médicaments sont efficaces, mais un tiers des gens les abandonnent dans les trois mois, du fait d'effets secondaires. Les psychothérapies ont aussi démontré leur efficacité mais le taux de rechute à un an est élevé », relève le professeur Brunet. Depuis les années 2000, son équipe a mis au point et validé un protocole associant une psychothérapie sur six semaines avec réactivation du souvenir traumatique, et du propranolol, un médicament utilisé en cardiologie.

« Si l'on ne se souvenait pas de l'événement traumatisant, il n'y aurait pas de stress post-traumatique. C'est un trouble de la mémoire émotionnelle », justifie Alain Brunet. D'où son idée de bloquer la consolidation ou plutôt la reconsolidation des souvenirs traumatisants. « Quand on vit une expérience, elle se transforme en souvenir. La consolidation, avec passage de la mémoire à court terme vers celle à long terme,

prend entre deux et cinq heures, et il est possible d'interférer avec ce processus. En revanche, on a longtemps cru qu'un souvenir consolidé était permanent, comme marqué au fer rouge. Mais il y a quinze à vingt ans, on a découvert que lorsqu'on se remémore un souvenir, il doit être consolidé de nouveau », explique le psychologue canadien.

Le propranolol agit en bloquant la reconsolidation, il n'efface pas le souvenir mais diminue son intensité émotionnelle. Ce médicament ne fonctionne cependant pas seul, d'où le couplage avec une procédure de remémoration du trauma, souligne Alain Brunet. Efficace dans deux tiers des cas, ce protocole dit « de blocage de la reconsolidation mnésique » est désormais utilisé au Québec. En France, il a été testé avec succès sur une petite série de patients avec un ESPT après l'explosion de l'usine AZF de Toulouse, en 2001.

En pratique, le patient prend un comprimé de propranolol avant chacune des six séances de psychothérapie. Lors de la première séance, il écrit le récit de son trauma, récit qu'il lit à l'intervenant lors de chacune des séances ultérieures. A la fin du traitement, le texte ne doit plus correspondre à son ressenti...

Le psychologue canadien a eu l'idée d'une collaboration avec les

hôpitaux français, peu après le 13-Novembre. Il a alors contacté Martin Hirsch, le patron de l'AP-HP, pour lui proposer de former bénévolement des soignants à sa méthode. Une démarche motivée par la solidarité mais aussi par la recherche : c'est l'occasion d'une évaluation sur le terrain, à une échelle inédite, de cette thérapie. Mi-décembre, Alain Brunet a présenté son projet aux soignants parisiens. « C'était un peu houleux », se rappelle-t-il. Si les travaux du psychologue canadien sont internationalement reconnus, son approche ne fait pas l'unanimité, notamment dans les équipes avec des pratiques psychodynamiques (d'inspiration psychanalytique).

Séduit, le professeur Bruno Millet – qui, au départ, n'est pas un spécialiste de l'ESPT – s'est porté volontaire pour coordonner un essai. Depuis, Alain Brunet a formé une centaine de médecins et psychologues. Une dizaine d'hôpitaux ont accepté de participer, mais la liste n'est pas définitive. L'étude, qui n'a pas encore toutes les autorisations, devrait démarrer d'ici à fin avril. Le traitement canadien sera comparé aux méthodes habituelles de prise en charge de l'ESPT. Un numéro d'appel unique (01-42-16-15-35) a été ouvert, et un site Internet d'information devrait suivre. ■

## Le propranolol bloque la reconsolidation du souvenir, il ne l'efface pas mais diminue son intensité émotionnelle

socié à un risque accru de dépression, suicide, addictions.

Si seule une minorité des individus exposés à des événements traumatisants développe ce syndrome, la proportion est plus élevée pour les traumatismes d'origine humaine et en particulier les attentats. Ainsi, 31 % des rescapés des attentats de Paris de 1995 ont souffert d'ESPT dans les trois ans qui ont suivi.

Les prises en charge précoces par des cellules d'urgence médico-psychologique (CUMP) – auxquelles ont eu recours des milliers de personnes après les attentats du 13-Novembre –

### TÉLESCOPE

**Paludisme**  
 La résistance des parasites à un antipaludéen en question



Bonne nouvelle sur le front de la lutte contre le paludisme : les parasites qui développent une résistance à l'atovaquone – utilisé en association avec le proguanil – ne transmettent pas cette propriété à leur descendance. Une équipe australienne a pu suivre, chez la souris, l'apparition de mutations génétiques de l'agent infectieux, permettant à celui-ci de tromper les assauts de l'atovaquone. Mais ils ont découvert que ces mêmes mutations empêchent le parasite de se reproduire au sein du moustique, vecteur unique de transmission de la maladie. Cette découverte pourrait modifier l'usage de la malarone, le médicament qui contient l'atovaquone. (PHOTO: JAMES GATHANY/AP) > Goodman et al., « Science », 15 avril.

**Médicaments**  
 Les inhibiteurs de la pompe à protons incriminés

Médicaments très populaires pour traiter le reflux gastro-œsophagien et les ulcères, et prévenir les effets secondaires digestifs des anti-inflammatoires, les inhibiteurs de la pompe à protons (IPP) sont associés à un risque accru d'insuffisance rénale chronique, conclut une nouvelle étude américaine. La survenue de lésions rénales augmente avec la durée du traitement. D'autres travaux ont déjà pointé une association entre IPP et insuffisance rénale. Ces produits, dont certains peuvent être achetés sans ordonnance, sont aussi accusés de favoriser des infections pulmonaires, l'ostéoporose et des infarctus.

> Xie et al., « Journal of the American Society of Nephrology », 14 avril.

# 75%

Alors que les traitements contre l'hémophilie ont beaucoup progressé depuis soixante ans, trois malades sur quatre (75 %) n'y ont pas accès dans le monde pour des raisons économiques, indique l'Association française des hémophiles (AFH) à l'occasion de la Journée mondiale de cette maladie hémorragique, le 17 avril. Un constat qui concerne surtout les pays les plus pauvres, ceux d'Afrique en particulier.

# Une souris pour traiter le bégaiement

La modification d'un gène sur un rongeur ouvre un champ de recherche

Incroyable souris ! Reine du laboratoire, elle assiste les scientifiques dans presque tous les secteurs de la recherche médicale, de l'allergie au diabète, des maladies infectieuses aux désordres du comportement. Mais un domaine leur semblait interdit : les troubles de la parole. Des chercheurs américains annoncent pourtant, dans la revue *Current Biology*, être parvenus à modifier génétiquement une souris afin de la faire bégayer. Ce premier modèle animal ouvre la voie à des recherches tant fondamentales que thérapeutiques.

Le bégaiement touche environ 1 % de la population, soit 600 000 personnes en France et 3 millions aux Etats-Unis. S'il s'installe dès l'âge de 2 ans, il disparaît après 6 ans dans 75 % des cas. Pourquoi survient-il ? Qui

court le risque de le voir persister ? Comment expliquer la variabilité du bégaiement d'un instant à l'autre ? La recherche ne manque pas d'enjeux. Un outil faisait défaut : un animal sur lequel conduire des expériences.

### Une compétence innée

Pour « construire » la précieuse bestiole, les scientifiques se sont appuyés sur les travaux de Dennis Drayna. Ce chercheur du Porter Neuroscience Research Center du NIH à Bethesda (Maryland) a en effet identifié une modification génétique, et, plus précisément, au sein du gène incriminé, le changement d'un acide aminé responsable de plus de 10 % des bégaiements humains. Il a proposé de modifier le gène afin de vérifier si le rongeur allait souffrir d'une pathologie semblable.

Car, si elle ne parle pas, la souris vocalise. Une mère privée de son petit, un mâle en présence d'une femelle... « Je n'y croyais pas beaucoup », admet Terra Barnes, chercheuse en neurosciences à l'université Washington de Saint-Louis (Missouri), première signataire de l'article. La vocalisation chez les souris diffère tant de celle des humains. Elles naissent avec, c'est donc une compétence innée. Les sourdes vocalisent comme les autres. La scientifique a ainsi comparé l'organisation et le débit de la parole des souris (modifiées) et des hommes (bègues). « On retrouve les mêmes résultats, explique-t-elle. Je ne dis pas que les souris bégaiant. Mais un même mécanisme crée des anomalies similaires. »

Si des modèles animaux (souris, canaris) existent déjà pour l'étude des pathologies liées à

FOXP2, un gène responsable de graves mais rares handicaps vocaux et cérébraux, la recherche sur le bégaiement manquait d'un tel instrument. « L'étude confirme que l'atteinte est motrice, que c'est le corps qui est touché, pas la fonction langage, réagit Marie-Claude Monfrais-Pfauwadel, médecin phoniatre. Et elle fournit aux chercheurs un outil précieux. » Terra Barnes le dit avec gourmandise : « On va pouvoir s'amuser. » Au programme : déterminer les parties du cerveau où s'exprime la modification génétique, les protéines engagées, le chemin qui conduit ensuite vers des troubles qui n'affectent que le langage. « Et tester sur le rongeur les différentes thérapies, continue la chercheuse. Mais peut-être pas la rééducation orthophonique ! » ■

NATHANIEL HERZBERG

france

## Dans l'intérêt de la science

mathieu vidard  
 la tête au carré  
 14:00-15:00

avec, tous les mardis, la chronique de Pierre Barthélémy

Le Monde  
 science&médecine

# Grippe aviaire

## Les chercheurs contre-attaquent

ÉPIZOOTIE

Plusieurs laboratoires étudient à la loupe ce virus difficile à combattre, qui touche, depuis novembre 2015, des élevages du Sud-Ouest

NATHALIE PICARD

Pour les éleveurs du sud-ouest de la France, le 18 avril restera marqué d'une pierre noire. Un arrêté ministériel du 9 février a fixé de nouvelles mesures sanitaires pour endiguer l'épizootie de grippe aviaire. Dans une zone de restriction qui a été étendue à dix-huit départements, les oies et les canards ne peuvent plus, depuis lundi, être laissés en extérieur et seront maintenus enfermés. Parallèlement, l'interdiction, depuis le 18 janvier, de la mise en production de nouveaux canetons « a permis de dépeupler progressivement les exploitations. Ce vide sanitaire, associé à des mesures de nettoyage et de désinfection, nous permet d'éliminer les palmipèdes porteurs du virus », indique Bruno Ferreira, chef de service à la Direction générale de l'alimentation (DGAL). Seules les salles de gavage peuvent encore accueillir les palmipèdes en cours d'élevage jusqu'au 2 mai. A partir du 16 mai, certains élevages accueilleront à nouveau des canetons de moins d'une semaine. Dans la mesure où les couvoirs autorisés ne pourront fournir toutes les exploitations en même temps, ce repeuplement va se dérouler de manière progressive. L'objectif de cette stratégie établie par le ministère de l'agriculture ? Eradiquer le virus et permettre à la France de recouvrer son statut de pays indemne, afin de relancer les exportations.

Le 24 novembre 2015, le premier cas touché par le virus influenza, responsable de la grippe, était détecté dans une basse-cour en Dordogne. Depuis, les autorités sanitaires ont décelé, au total, 76 foyers de grippe aviaire hautement pathogène dans huit départements. « En général, un seul élevage est contaminé par un oiseau migrateur. Une fois détecté, le foyer est éliminé et l'histoire s'arrête là. Mais la crise actuelle est exceptionnelle : des foyers sont infectés simultanément par des souches différentes du virus, s'inquiète Gilles

Salvat, directeur du laboratoire de Ploufragan-Plouzané (Côtes-d'Armor) de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). Ce qui signifie probablement que le virus circule à bas bruit depuis longtemps dans les élevages. Une propagation insidieuse qui préoccupe les responsables sanitaires. D'autant que, chez le canard, les souches de virus impliquées causent peu de signes cliniques. Ce qui rend leur diffusion difficilement détectable par la surveillance vétérinaire. Et pour ne rien arranger, leur transmission est facilitée par l'organisation de la filière des pal-

**« La crise actuelle est exceptionnelle : des foyers sont infectés simultanément par des souches différentes du virus »**

GILLES SALVAT  
directeur de laboratoire à l'Anses

mipèdes à foie gras, caractérisée par une forte circulation d'animaux vivants. « Contrôler l'épizootie est indispensable, confirme Nicolas Etteradossi, directeur adjoint du laboratoire. Sinon, le virus risquerait de devenir plus pathogène pour les volailles et pourrait à terme s'adapter à l'homme. » Voilà pourquoi la grippe aviaire est placée sous haute surveillance. Lorsqu'un éleveur remarque une mortalité anormale de ses volailles ou une baisse de la ponte, il doit alerter son vétérinaire sanitaire. Lui se rend sur place pour établir un diagnostic et effectuer des prélèvements. D'abord, un laboratoire départemental agréé analyse les échantillons. Un test permet de savoir si l'animal souffre bien de la maladie et si la souche est potentiellement dangereuse. Ensuite, les prélèvements sont transférés au laboratoire national de réf-

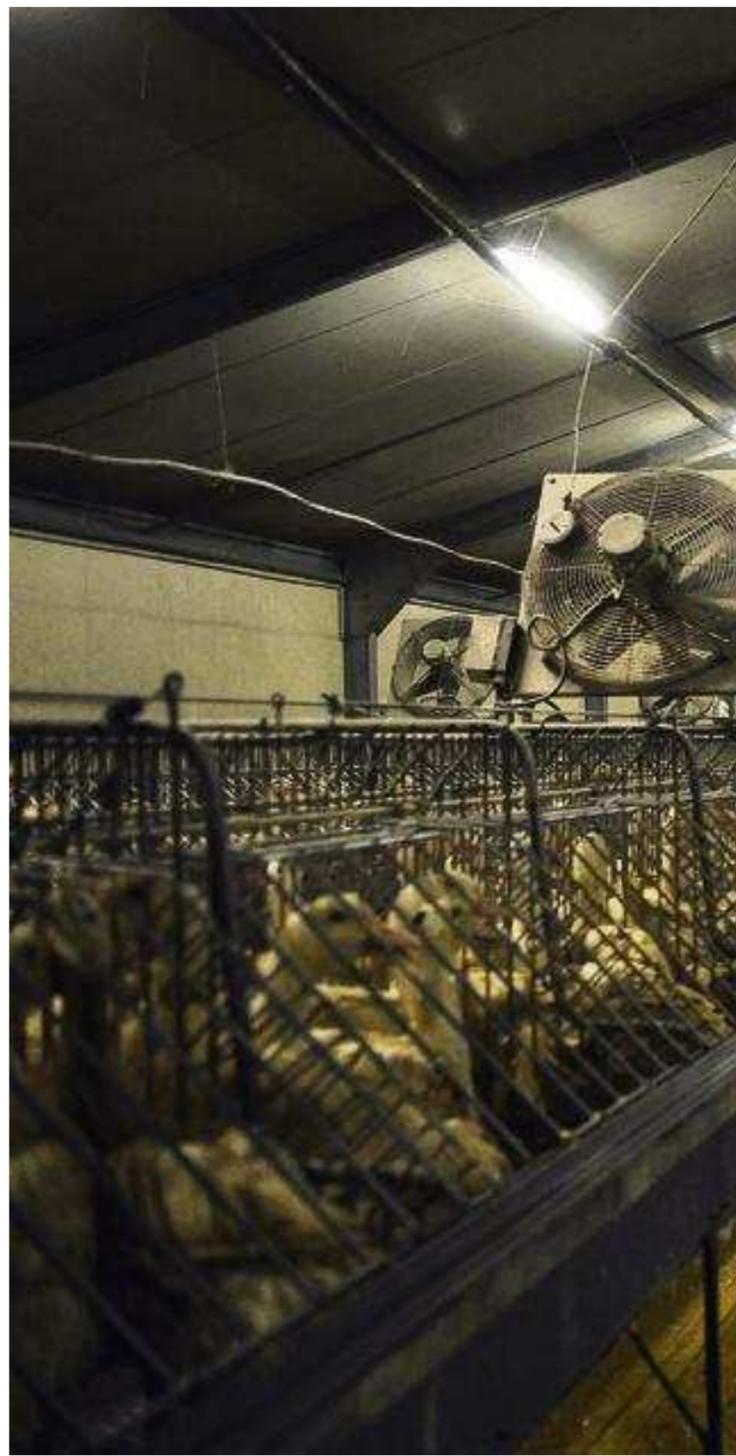
rence pour la grippe aviaire à Ploufragan, en Bretagne. L'objectif ? Déterminer le niveau de virulence par des tests complémentaires. Au choix, deux catégories : faiblement ou hautement pathogène. Cette dernière forme, spécifique aux oiseaux, se distingue par sa mortalité élevée et sa rapidité de propagation.

H5N1, H5N2, H5N9, plusieurs souches de virus influenza ont été détectées dans les élevages français. Ces différents sous-types sont classés selon les propriétés de deux protéines présentes à leur surface : l'hémagglutinine, dont il existe seize types (H1 à H16), et la neuraminidase (N1 à N9). La première permet au virus de s'arrimer à la cellule puis de

pénétrer à l'intérieur. La neuraminidase, elle, favorise la diffusion dans l'organisme des nouvelles particules virales produites dans la cellule infectée. Si l'hémagglutinine est de type H5 ou H7, un séquençage partiel du gène permet de déterminer si le virus est hautement pathogène ou non. Un caractère détecté par la présence d'une suite particulière d'acides aminés, signe d'une hémagglutinine très efficace.

Les génomes des virus alimentent une base de données internationale. Des informations scrutées à la loupe par de nombreux scientifiques. Que recherchent-ils parmi ces millions de lettres codées ? « Par exemple, une séquence bien conservée au fil de l'évolution peut capter notre attention. Si elle est importante, y introduire une mutation nous permettra de mieux comprendre le fonctionnement du virus », explique Daniel Marc, virologue à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) de Nouzilly (Indre-et-Loire). Au sein de l'équipe Pathologie et immunologie aviaires, il planche sur la protéine virale non structurale 1 (NS1), dénommée ainsi car elle ne s'exprime que dans la cellule infectée. Son rôle : empêcher la cellule de se défendre en inhibant des molécules chargées de lancer l'alerte. En comparant les milliers de séquences répertoriées, Daniel Marc et ses collègues ont remarqué une mutation dans la région qui relie les deux domaines de NS1 : « Une perte de cinq acides aminés, apparue dans une souche H5N1 en l'an 2000, est devenue prépondérante. » Cette modification lui conférerait-elle un avantage sélectif ? Oui, répondent les chercheurs, qui ont démontré en 2014 qu'elle renforçait la virulence du pathogène. Autrement dit, une meilleure capacité à se multiplier et à provoquer un état pathologique marqué.

Aujourd'hui, l'équipe s'intéresse à des parties très stables du gène de la protéine NS1. Des mutations dans ces zones entraveraient-elles le fonctionnement de la protéine ? « Pour le savoir, nous construisons des virus mutants grâce à la génétique inverse », explique Daniel Marc. Une méthode qui permet de générer un virus à partir d'un génome dans lequel des mutations sont introduites. Le chercheur compare douze mutants différents à une souche sauvage. Ce vendredi-là, un



## « Frankenvirus », bientôt l'épilogue ?

Les « Frankenvirus » vont-ils faire leur retour dans les laboratoires ? Depuis dix-huit mois, la légitimité de ces virus mortels et contagieux créés par l'homme alimente le débat lancé par l'instance américaine National Science Advisory Board for Biosecurity (NSABB). En octobre 2014, la Maison Blanche instaurait un moratoire sur les financements qu'elle accorde aux travaux visant à créer des virus mutants dotés de fonctions dangereuses. Le temps d'analyser les impacts potentiels de ces recherches dites *gain of function* (« acquisition de fonction »). En cause, les risques d'évasion de ces virus dans la nature.

Ces craintes sont renforcées par la découverte de failles de sécurité dans certains laboratoires : durant l'été 2014, les éminents National Institutes of Health (NIH) ont, notamment, révélé avoir trouvé au fond d'un congélateur des flacons de variole, un virus mortel et dont la possession est interdite depuis trente ans. Mandaté par le gouvernement américain, le NSABB s'apprête à franchir l'ultime étape d'un

processus jalonné de réunions d'experts, de rapports et de colloques scientifiques : il finalisera ses recommandations le 24 mai. A charge ensuite pour le gouvernement de déterminer une nouvelle politique pour encadrer ces recherches.

Car le cadre actuel a autorisé des travaux pour le moins controversés. La communauté scientifique en a pris conscience en 2011, lorsque deux équipes ont annoncé avoir réussi à rendre un virus H5N1 aviaire hautement pathogène transmissible par voie aérienne entre furets, un modèle animal proche de l'homme. Cet événement a marqué le début d'une polémique qui n'en finit pas. En France, aucune recherche de type *gain of function* ne semble actuellement menée sur des virus influenza. Les travaux sont souvent réalisés sur des souches faiblement pathogènes. Sinon, l'objectif est plutôt de diminuer leur capacité.

Au niveau de l'Union européenne, les académies des sciences des pays membres – réunies au sein d'un Conseil consultatif européen (EASAC) – ont publié un rapport fin 2015. Dans le cadre de la consulta-

tion organisée outre-Atlantique, Volker ter Meulen, membre de l'Académie allemande des sciences Leopoldina, a représenté l'EASAC au colloque organisé par l'Académie des sciences américaine, en mars. Cette avant-dernière réunion du processus visait à débattre du projet de recommandations porté par le NSABB. Parmi les principaux messages de l'EASAC : « Les recherches qui posent problème doivent être gérées et analysées au cas par cas », affirme Volker ter Meulen. Une position en accord avec les propositions du NSABB.

### Des études à risque élevé

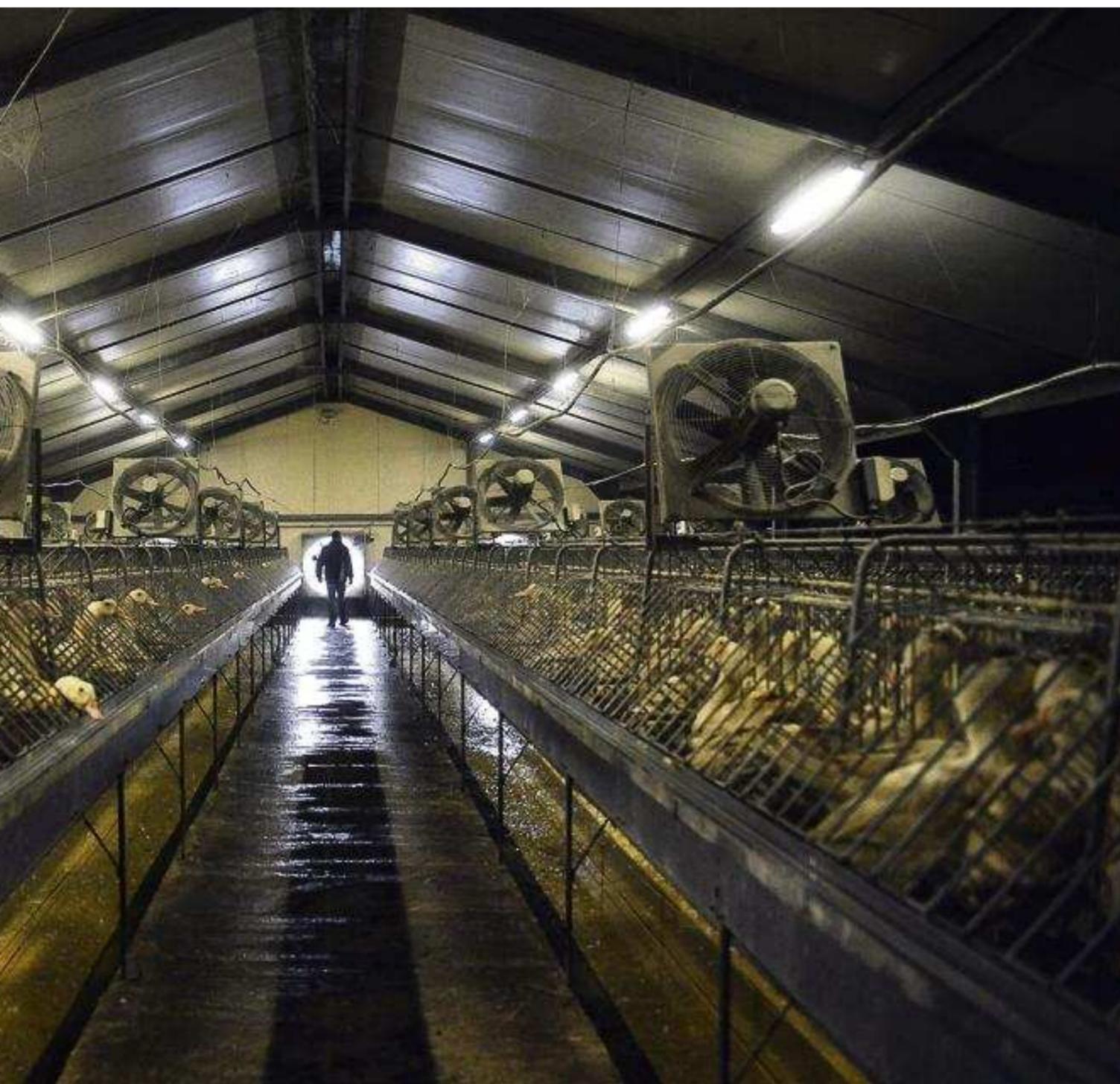
Le comité américain a caractérisé les études à risque élevé : celles qui peuvent générer un pathogène hautement transmissible et très virulent dans un modèle animal pertinent pour les mammifères, et résistant aux vaccins et aux médicaments. Leur financement serait conditionné à une évaluation complémentaire. Un refus pourrait être opposé s'il existe une méthode alternative moins risquée, si les bénéfices potentiels ne sont pas suffisants eu égard aux risques encourus ou si

l'institution proposant la recherche ne peut la mener en toute sécurité.

Reste une interrogation : qui assurera cette évaluation ? « Le conseil devrait être indépendant de l'organisme de financement et de l'institution proposant les travaux, et devrait avoir une expertise appropriée », écrit Marc Lipsitch, professeur d'épidémiologie à Harvard, avec deux collègues dans une publication de l'Institut national américain d'étude des maladies infectieuses.

Une autre option serait de fixer une ligne jaune à ne pas franchir. Et d'interdire d'office certaines recherches. Membre du groupe de travail de l'EASAC, Simon Wain-Hobson, professeur de virologie à l'Institut Pasteur, regrette que ce conseil n'ait pas pris une position plus ferme : « Certaines recherches ne sont pas acceptables : on ne doit pas rendre volontairement un microbe plus dangereux. » Et le scientifique de s'interroger : « Le clonage humain est interdit, les travaux sur les cellules souches strictement encadrés, pourquoi ne ferait-on pas de même avec ces expériences dangereuses pour la santé publique ? » ■

N. P.



Structure de la polymérase, enzyme clé du virus de la grippe A.

ALEX PFLUG ET STEPHEN CUSACK/EMBL, GRENOBLE

## Voir l'ennemi en trois dimensions

Comment se protéger de la grippe ? Chaque année, l'Organisation mondiale de la santé doit revoir la composition du vaccin contre la grippe saisonnière. L'objectif : l'adapter aux souches de virus les plus représentatives. Et comme six à huit mois sont nécessaires pour produire le vaccin, il s'agit en quelque sorte d'un pari sur l'avenir. C'est pourquoi son efficacité n'est pas toujours optimale. Cela a été le cas en 2014-2015, où son niveau de protection a été moins élevé qu'escompté. Quant à l'émergence d'une souche pandémique – un nouveau virus qui se propagerait à grande échelle au sein d'une population non immunisée –, elle semble impossible à prévoir. D'où l'importance des traitements antiviraux pour soigner la maladie.

Aujourd'hui, deux médicaments sont utilisés : ils inhibent l'activité d'une enzyme virale, la neuraminidase. Mais les virus grippaux ont tendance à développer des résistances qui les rendent difficiles à combattre. « Comme ils mutent très rapidement, il faut combiner plusieurs médicaments, qui ciblent différents sites essentiels pour la réplication du virus. Un peu à l'image des thérapies utilisées contre le sida », explique Rob Ruigrok, professeur à l'université de Grenoble.

### Comme une vision en 3D

Développer un traitement efficace contre la grippe, telle est la finalité des travaux de Rob Ruigrok et Thibaut Crépin, chercheur au CNRS. Tous deux travaillent à l'Institut de biologie structurale de Grenoble. Leur cible : la polymérase virale, une enzyme-clé dans le mécanisme de prolifération du virus. Ils utilisent la cristallographie afin de comprendre, au niveau atomique, le fonctionnement de cette macromolécule. Une méthode qui s'appuie sur l'utilisation des rayons X : lorsqu'ils traversent une molécule, leur diffraction informe sur la manière dont les atomes sont organisés. « Nous obtenons ainsi la position de tous les atomes de la protéine dans l'espace. Ce qui nous permet de visualiser sa forme, ses replis et la manière dont elle peut interagir avec d'autres molécules », détaille Thibaut Crépin. En somme, une vision en trois dimensions.

En 2014, en collaboration avec l'équipe de Stephen Cusack, du Laboratoire européen de biologie moléculaire, les chercheurs ont réussi une véritable prouesse : obtenir la structure complète de la polymérase. Une découverte sur laquelle s'appuient des scientifiques comme Nadia Naffakh, de l'Institut Pasteur : « Un verrou important a sauté. Désormais, lorsque nous introduisons une mutation dans la polymérase, nous pouvons visualiser précisément sa position sur la structure tridimensionnelle de la protéine. Ce qui facilite nos travaux sur l'adaptation du virus à l'homme. » C'est aussi une étape-clé dans la mise au point d'antiviraux ciblant la polymérase virale, estiment les chercheurs.

« Aujourd'hui, nous pouvons collaborer avec des entreprises pharmaceutiques qui testent des molécules inhibitrices », affirme Thibaut Crépin. Grâce à la cristallographie, l'équipe analyse les interactions potentielles de ces substances avec la polymérase. « Comme pour l'hépatite B ou le sida, connaître la structure de cette protéine devrait accélérer les recherches pharmaceutiques, espère Rob Ruigrok. Et permettre de développer, d'ici dix à quinze ans, une multithérapie efficace. » ■

N. PI

technicien de l'équipe suit un protocole pour compter les virus dans des prélèvements réalisés à partir de cellules infectées. Des expériences menées dans un laboratoire L3, à haut niveau de confinement, ultrasécurisé : sas d'entrée, accès réglementé, dépression de la zone de travail, stérilisation du matériel dans un autoclave... Des dispositifs mis en place pour éviter un risque de contamination accidentelle. Pour pénétrer à l'intérieur, le technicien franchit deux sas de sécurité. Il enfle sa blouse, ses chaussures et ses gants dans le second. Ainsi protégé, l'homme s'installe à son poste de sécurité microbiologique : les manipulations à risque se déroulent dans cet espace de travail protégé par une vitre et un flux laminaire pour purifier le plan de travail. Muni d'une pipette, le technicien dilue les prélèvements dans des tubes, puis les distribue dans de petites boîtes de Petri contenant un tapis de cellules en culture. Enfin, il place les boîtes à l'étuve jusqu'au mardi suivant.

### Dans l'adaptation du virus à l'homme, une enzyme, la polymérase virale, joue un rôle-clé

La coloration des tapis cellulaires infectés permettra alors de dénombrer les particules virales et de déterminer la vitesse de réplication du virus. « Nous décèlerons peut-être des différences entre des mutants et la souche sauvage, espère le virologiste. Complétés par d'autres expériences, ces résultats nous permettront de préciser l'importance de la protéine dans le cycle de multiplication du virus. » Afin de découvrir des déterminants de virulence et, in fine, explorer de nouvelles pistes de stratégies antivirales chez l'homme.

La protéine NS1 intéresse aussi les chercheurs en virologie de l'INRA de Toulouse. Eux explorent les interactions de la protéine virale avec celles de l'hôte, chez le poulet et le canard. Un travail commencé il y a deux ans : « D'abord, nous déterminons une liste de pro-

**Elevage de canards. Depuis novembre 2015, les autorités sanitaires ont décelé 76 foyers de grippe aviaire hautement pathogène dans huit départements.**

REMY GABALDA/AFP

téines aviaires qui interagissent avec NS1. Ensuite, nous allons comparer cette liste à celle des protéines humaines déjà connues pour se lier à NS1. Les différences entre les deux nous permettront d'analyser les mutations de NS1 susceptibles d'induire un changement d'interactions, favorisant un passage du canard à l'homme », prévoit Mariette Ducatez, chercheuse en virologie.

Comment le virus s'adapte-t-il à l'homme ? Une question-clé qui appelle de multiples réponses. A l'origine, l'influenza est une maladie aviaire. Pour autant, son potentiel de transmission entre espèces lui permet d'atteindre l'homme. « Les espèces domestiques, comme les volailles ou le porc, jouent souvent le rôle d'intermédiaires entre le réservoir de virus – les oiseaux aquatiques sauvages – et l'homme », note Nadia Naffakh, directrice de recherche au CNRS à l'Institut Pasteur de Paris. L'exceptionnelle plasticité génétique du virus constitue le deuxième moteur de son adaptation. Là, deux mécanismes entrent en jeu. Le premier, le réassortiment, survient lorsque deux virus différents infectent simultanément une cellule. Et donnent naissance à un nouveau virus, fruit de l'assemblage de leur matériel génétique. Ce que craignent les virologistes ? Un réassortiment entre un virus aviaire hautement pathogène et un virus humain. L'accumulation de mutations constitue le deuxième mécanisme. Ici intervient une enzyme-clé, la polymérase virale. Son rôle dans la cellule infectée est de fabriquer les copies du génome qui seront incorporées dans les nouvelles particules virales. Les erreurs qu'elle introduit dans le génome, couplées à une pression de sélection, font évoluer le virus en permanence. Ainsi, « de multiples chemins adaptatifs sont possibles, ce qui rend difficile la prévision du prochain virus pandémique. Celui de 2009, par exemple, détenait une combinaison de déterminants d'adaptation à laquelle nous ne nous attendions pas, compte tenu des observations faites jusqu'alors », souligne Nadia Naffakh.

Elle et son équipe concentrent leurs recherches sur la polymérase. Plus spécialement sur ses interactions avec l'environnement cellulaire. Pourquoi cette protéine ? Car des mutations sont impliquées dans l'adaptation du virus à l'homme. Par exemple, des

modifications qui lui confèrent une plus grande capacité à passer dans le noyau d'une cellule humaine et augmentent la réplication du virus. Certaines sont justement recherchées par l'Anses dans les virus aviaires circulant. « Lorsque l'on détecte un virus comme H5N1, on peut analyser sa séquence complète grâce à la plate-forme de séquençage à haut débit du laboratoire. Puis, en lien avec le Centre national de référence des virus influenzae de l'Institut Pasteur, on vérifie si certaines mutations sont présentes. Comme celles de la polymérase, connus pour faciliter la réplication du virus chez les mammifères », détaille Nicolas Eterradossi. D'autres marqueurs sont recherchés, comme une adaptation de l'hémagglutinine lui permettant de se fixer aux cellules humaines, ou des mécanismes spécifiques de contrôle de la réponse immunitaire. Dans son avis du 14 décembre 2015, l'Anses conclut à un risque « quasi nul » de transmission à l'homme du virus H5N1 qui sévit dans les élevages français. Quant au risque de transmission interhumaine, elle le considère « encore plus faible ».

Pourquoi cette vigilance particulière face au virus H5N1 ? Parce que, depuis son émergence chez l'homme, en 2003, celui-ci a provoqué 449 morts dans seize pays, en Asie du Sud-Est surtout, sur un total de 846 cas confirmés par des analyses de laboratoire, selon les décomptes de l'Organisation mondiale de la santé. Ainsi, un sous-type du virus H5N1 a acquis la capacité de se répliquer chez l'être humain. Pour autant, son adaptation reste partielle puisqu'il ne se transmet pas entre humains. Les autorités sanitaires craignent une telle évolution, d'autant que le virus affiche un taux de létalité supérieur à 50 %. D'où la surveillance dont il fait l'objet à l'échelle mondiale. « Les oiseaux sauvages migrateurs constituent un réservoir gigantesque qui ne connaît pas de frontières », précise Bruno Lina, professeur de virologie et directeur du Centre national de référence des virus influenzae pour le sud de la France. Pour l'expert, les mesures prises par le gouvernement sont adaptées. « Mais seul l'avenir nous le confirmera. Face à la menace pandémique, notre devoir est d'abaisser le risque au maximum. Celui qui ne prend pas cette responsabilité met en danger toute l'humanité. » ■

## Des méduses visitent la capitale

L'EXPOSITION

L'Aquarium de Paris présente des cnidaires, qui pullulent à présent dans certaines mers

HERVÉ MORIN

La densité que vous voyez là, c'est celle qu'on observe dans la Baltique, la mer Noire ou la mer Rouge ! » Jacqueline Goy, qui a voué toute sa carrière de biologiste aux méduses, désigne les cnidaires qui tournent, en ronde perpétuelle, dans le flux laminaire des bassins de l'aquarium de Paris. Après quatre années de préparation méticuleuse, celui-ci a décidé de présenter une poignée d'espèces de méduses. « Il s'agit du premier médusarium à Paris », se félicite Alexis Powilewicz, président de cet établissement privé, niché sous l'un des tentacules du palais de Chaillot. « Elles sont l'un des marqueurs de la dégradation du milieu marin », enchaine-t-il, insistant sur le fait que son « institution d'éducation populaire à l'environnement » se devait de familiariser le public avec un animal qui constitue à la fois une menace et une promesse. Une menace, parce que la « gélification des océans » est en marche : le réchauffement climatique, mais aussi la surpêche, favorisent la pullulation des méduses, cercle vicieux qui sera difficile à enrayer. Atteinte à la biodiversité marine, à la pêche, au tourisme, voire à la sécurité de l'approvisionnement nucléaire – des méduses ont obstrué des systèmes de refroidissement d'une centrale en Suède en 2013 –, la liste s'allonge.

### Source de collagène et antirides

Une promesse aussi, énumère Jacqueline Goy, parce qu'elle est source de collagène pour les grands brûlés, « et de crèmes antirides hors de prix ». Parce que ses facultés de régénération pourraient inspirer des recherches sur les cellules souches, tout comme ses gènes de fluorescence sont utilisés en biologie et en médecine. Membre du comité scientifique de l'Aquarium de Paris, la chercheuse a regroupé, pour l'exposition « Méduses et poètes », des textes littéraires qui accompagnent une vingtaine de reproductions du dessinateur naturaliste Charles Alexandre Lesueur (1778-1846). L'Aquarium accueille aussi « Jellyfish », des créations du plasticien israélien Micha Laury, qui évoquent les lampes d'Emile Gallé (1846-1904). Mais revenons aux vraies méduses. En coulisses, le biologiste Etienne Bourgoïn les nourrit de crevettes vietnamiennes microscopiques, se garde des piqûres cuisantes, veille à ne jamais mélanger les polypes qui donneront naissance aux différentes espèces de méduses, pour éviter qu'elles se cannibalisent. Ces polypes proviennent de l'aquarium de Kamo à Tsuruoka (Japon), où l'équipe française a fait ses classes. « On veut maîtriser, grâce à leur collaboration, tout le cycle de reproduction », explique Alexis Powilewicz. Dans les cages bleutées, le ballet languide des méduses fascine. Elles peuplaient déjà la mer il y a 600 millions d'années. Quelque chose suggère, dans leurs pulsations têtues, l'étreinte molle de leurs filaments mortels, que leur règne ne fait que commencer. ■

« Médusarium », aquarium de Paris, 5, avenue Albert-de-Mun, Paris 16<sup>e</sup>. [www.cineaqua.com](http://www.cineaqua.com)

## Agenda

**Médecine**  
**La journée de dépistage du diabète**  
Un dépistage gratuit est organisé le 23 avril, dans 70 villes françaises par l'association L'Association Française pour le Dépistage et la Prévention du Diabète. Accessibles à tous les adultes de plus de 18 ans, les tests seront réalisés anonymement en moins de deux minutes. Les personnes identifiées avec un taux de glycémie élevé pourront s'entretenir avec un médecin. La première journée de dépistage, le 14 novembre 2015, avait permis de tester plus de 20 000 personnes dans 35 villes ; 829 avec une glycémie hors limite avaient été identifiées.  
➤ Sur le Web : [liderdiabete.org/evenements](http://liderdiabete.org/evenements)

## Comment rendre la Terre invisible aux extraterrestres



IMPROBABLOGIE

### Pierre Barthélémy

Journaliste et blogueur  
[Passeurdessciences.blog.lemonde.fr](http://Passeurdessciences.blog.lemonde.fr)

Après que Christophe Colomb eut « découvert » l'Amérique, le moins que l'on puisse dire c'est que l'irruption des Européens dans le Nouveau Monde ne bénéficia pas vraiment aux autochtones. Pourquoi ce rappel historique ? Parce que certains, à

commencer par le célèbre cosmologiste britannique Stephen Hawking, redoutent que la situation ne se reproduise mais au détriment de l'humanité entière. Notre Terre pourrait bien être un tentant eldorado pour des extraterrestres en avance de plusieurs technologies, qui n'hésiteraient pas à venir jouer les conquistadores et à écraser nos faces d'indiens mal dégrossis sous leurs pattes gluantes. D'où l'idée de ne pas hurler notre présence sur les toits cosmiques, de nous faire discrets, tout petits. L'ennui, c'est qu'il est difficile de planquer la Terre sous un tapis. Si, depuis une vingtaine d'années, nous avons été capables de détecter plus de 2 000 planètes extrasolaires, de plus en plus modestes en taille, il a de bonnes chances qu'E.T. soit en mesure d'en faire autant avec notre jolie boule bleue. Et, dans une étude publiée le 30 mars par les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (MNRAS), deux astronomes de l'université Columbia (New York) se sont dit qu'il n'est pas improbable qu'il utilise la méthode qui nous a le plus réussi au cours des dernières années, celle dite du transit.

Son principe consiste à observer la lumière d'une étoile, en espérant que nous soyons sur le même plan que les éventuelles planètes qui tournent autour. Au bout d'un moment, celles-ci finissent par passer devant le disque de leur soleil – ce qu'on appelle un transit en astronomie –, provoquant une baisse de luminosité de l'étoile, aisément repérable. Des panzers venus de Zantar Il est ensuite assez facile de calculer la taille des exoplanètes en question, de déterminer si elles se trouvent dans une zone tempérée, propice au maintien de l'eau sous forme liquide. Bref, de dire si elles sont habitables. On peut aussi, par spectroscopie, chercher dans leur atmosphère des molécules trahissant la présence d'organismes vivants, voire des traces de pollution industrielle produite par d'hypothétiques gougnafrs. Si nous ne voulons pas, un de ces beaux matins, voir débarquer des colonnes de panzers spatiaux tout droit issues de la planète Zantar, peut-être faudrait-il songer, non pas à empêcher la Terre de passer devant le Soleil – cela risque d'être un peu

compliqué à mettre en place –, mais à lui créer une sorte de cape d'invisibilité, explique, le plus sérieusement du monde, l'étude des MNRAS. Ses auteurs ont donc calculé combien d'énergie il faudrait dépenser pour compenser la baisse de luminosité produite par notre transit annuel devant notre étoile en dirigeant, à ce moment précis, des lasers vers Zantar, de manière à faire croire aux astronomes zantariens que, autour du Soleil, il n'y a rien. Ce qui revient à allumer un immense phare non pas pour être vu, mais pour ne pas l'être ! Résultat de l'estimation : pour une cape d'invisibilité parfaite, il faut compter un réseau de lasers d'une puissance totale de 250 mégawatts, à allumer dix heures par an. Soit un coût énergétique somme toute raisonnable. Autre possibilité moins gourmande (160 kilowatts), masquer uniquement les « biosignatures » de notre atmosphère, pour faire croire que la Terre est privée de vie. Tout cela est très joli. Mais c'est oublier que les Zantariens ont depuis longtemps... détecté nos émissions radio et qu'ils sont déjà en route. En fait, ils arrivent demain. ■



DAVID R. WEAVER

### La boussole du monarque modélisée

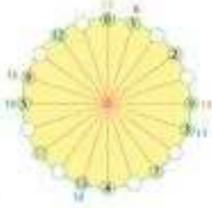
Chaque automne, des millions de papillons monarques quittent l'est des États-Unis pour un voyage de 4 000 km vers le centre du Mexique. Une équipe américaine propose dans *Cell Reports* du 14 avril une modélisation de leur boussole interne. Celle-ci combinerait les signaux provenant

d'une horloge comprise dans leurs antennes et de leurs yeux à facettes capables d'estimer la hauteur du Soleil sur l'horizon. Combiner ces impulsions nerveuses permettrait au lépidoptère de recalculer son cap au sud-ouest au fil de la journée. Et de faire l'inverse pour le voyage de retour. ■

### AFFAIRE DE LOGIQUE

#### Cadran à colorier

Tout autour de ce cadran sont placées N cases circulaires. Alice commence par colorier en vert la case du haut (marquée 0). Elle compte une case dans le sens des aiguilles d'une montre et colorie la case d'arrivée. Elles comptent 2 cases et colorie la case d'arrivée. Puis 3, puis 4, 5, 6 et ainsi de suite. Au bout d'un certain temps, avec N = 20, elle s'aperçoit qu'elle ne colorie plus de nouvelles cases. 8 d'entre elles sont restées blanches. Pour quelle(s) valeur(s) de N comprises entre 20 et 50 la stratégie d'Alice aurait-elle permis de colorier toutes les cases ?



#### SOLUTION DU N° 959

Le nombre A d'Alice est 130. Le nombre B de Bob n'existe pas pour les cubes. Bob s'est trompé. Il n'existe pas non plus pour les puissances 5 et 7, mais existe pour les puissances 4 (1 439 874) et 6 (3 015 690). Remarques préliminaires : On cherche  $N = 1 + b^k + c^k + d^k$  où  $b, c, d$  sont les quatre plus petits diviseurs de N. Si N n'admettait que des diviseurs impairs, la somme serait paire, ce qui mènerait à une contradiction. Ainsi, N est pair, et donc  $b = 2$ . Pour les mêmes raisons, c et d ne peuvent être de même parité.

Cela entraîne que c est impair et que  $d = 4$  ou  $d = 2c$ . Dans ce dernier cas,  $N = (1 + 2^k)(1 + c^k)$ . • Cas  $k = 2$  : N ne peut être divisible par 4, car  $1 + c^2$  ne l'est jamais. Donc  $d = 2c$  et  $N = 5(1 + c^2)$  est divisible par 5. Mais c ne peut être égal à 3, car on aurait  $d = 5$  et non pas  $d = 2c = 6$ . Il ne reste plus que la possibilité  $c = 5$  qui donne  $N = 130$ . • Cas  $k = 3$  : • Si N n'est pas divisible par 4, on a  $N = 9(1 + c^3)$ , divisible par 3. c ne peut être égal qu'à 3, mais alors  $N = 9 \times 28$  serait divisible par 4 : contradictoire. • Si N est divisible par 4, on conclut par exclusion  $c = 3$  la somme

des quatre premiers cubes, 100, n'est pas divisible par 3. On a donc :  $N = 17 + 27 + 45 + d^3$ , soit  $N = 73 + d^3$ . 73 est premier. N étant divisible par 4, on en déduit que d divise 73, donc que  $d = 73$ . Mais alors,  $N = 389 282$  n'est pas divisible par 4 : contradiction. • Cas  $k = 5$  et  $k = 7$  : On les exclut pour des raisons comparables. • Cas  $k = 4$  et  $k = 6$  : N ne peut être divisible par 4 pour les mêmes raisons que pour  $k=2$ . On a, respectivement :  $N = 17(1 + c^4)$  qui donne une solution unique avec  $c = 17$ .  $N = 65(1 + c^6)$  qui donne une solution unique avec  $c = 5$ .

ÉLISABETH BUSSER ET GILLES COREN © POLE 2016

[www.affairede logique.com](http://www.affairede logique.com)

#### Régal mathématique un peu partout en France

• Soirées musicales à Lyon à partir du 26 avril  
La Maison des mathématiques de Lyon (MML) vous invite, un mardi sur deux à 20 h, du 26 avril au 21 juin, à explorer les liens entre musique et mathématiques. Les activités proposées : une visite de l'exposition participative « Musimathique », avec un parcours expérimental et artistique à travers quatre univers, et une conférence. Olivier Druet fera découvrir les événements marquants de l'histoire conjointe des deux disciplines, de Pythagore à Fourier : « La musique des sphères » le 26 avril, « Les cordes vibrantes » le 10 mai, « La musique réchauffe » le 24 mai, « Les figures de Chladni » le 7 juin, « Peut-on entendre la forme d'un tambour ? » le 21 juin. Programme détaillé et informations sur <http://math.univ-lyon.fr/mml/>  
• Conférence sur Sophie Germain à Limoges le 27 avril  
En préambule à la journée d'hommage au mathématicien limousin Raymond Couty organisée à l'université de Limoges, Annie Boyé donnera, mercredi 27 avril à 18 h 30, une conférence ouverte à tous : « Sophie Germain (1776 - 1831), une mathématicienne face aux préjugés de son temps ». Sophie Germain fait partie de ces scientifiques qui eurent du mal à être reconnues par leur époque parce que femmes. S'étant initiée seule aux plus hautes mathématiques, elle a parfois utilisé le subterfuge d'un pseudonyme masculin. Parcours à travers l'histoire et l'œuvre de la première femme à recevoir un prix de l'Académie des sciences (en 1816, il y a juste deux siècles). Informations sur [www.irem.unilim.fr](http://www.irem.unilim.fr)  
• Les « Sciences au dessert » à Cahors le 3 mai  
François Sauvageot, passeur de sciences, sera l'invité des « Sciences au dessert » le mardi 3 mai (20 h 30), à l'Espace Clément-Marot de Cahors. Durant son « One maths show », le public choisira les mots qui serviront de support à l'improvisation. En croisant son regard avec celui des spectateurs, il ouvrira un chemin jusqu'au cœur des maths. Et n'oubliez pas : vers 22h, vous partagerez les desserts (si vous en apportez...) ! Informations sur [www.carnfour-sciences-arts.org/Activites\\_conferences.php](http://www.carnfour-sciences-arts.org/Activites_conferences.php)

**Michel Cabaret,**  
au CCSTI de Rennes,  
en avril 2016.

RICHARD DUMAS POUR « LE MONDE »



DAVID LAROUSSERIE

**L**es belles histoires de start-up commencent souvent dans un garage. Celle de Michel Cabaret a débuté dans un espace déserté du premier étage d'un centre commercial de Rennes. Trente ans plus tard, c'est le succès : la petite entreprise est devenue la première non parisienne dans son domaine.

Le domaine est atypique et Michel Cabaret, 55 ans, n'a rien en fait d'un entrepreneur de la haute technologie. Sa passion, c'est la science, et il a contribué à créer le plus grand Centre de culture scientifique, technique et industrielle (CCSTI) de province. Depuis 2006, le CCSTI, devenu Espace des sciences en 1997, a quitté le centre commercial des débuts pour un lieu dans le centre-ville, à côté du musée de Bretagne et de la médiathèque. Il y a accueilli plus de 200 000 personnes en 2015, un record. « *Quand il pleut, les hôteliers conseillent à leurs clients d'y aller* », sourit Michel Cabaret, qui en est le directeur depuis 1988.

L'envie de ce pionnier est simple, « *partager la découverte et le plaisir de la découverte* ». Le credo, classique, « *promouvoir la pensée rationnelle pour faire reculer l'obscurantisme* ». Sans surprise, il avoue, « *j'ai eu ma vocation scientifique en visitant le Palais de la découverte à Paris, créé par Jean Perrin, qui est un de mes modèles* ». Tout naturellement, son engagement a été célébré par le prix Jean-Perrin de la Société française de physique en 2007. Il a également reçu l'un des grands prix de l'Académie des sciences en 2012.

« *Lorsque je suis venu visiter ce centre, au milieu des années 2000, les bras m'en sont tombés. C'est une folie, ce truc!* », salue Roland Lehoucq, astrophysicien au Commissariat à l'énergie atomique, très impliqué dans la popularisation des sciences et chroniqueur au Monde. « *L'idée est la même que celle de Perrin : mettre la science en culture par des expériences, des démonstrations, des exposés...* », ajoute celui qui a aussi contribué avec l'Espace des sciences à réaliser une exposition itinérante en astronomie.

Michel Cabaret a rejoint la petite équipe des débuts trois ans après la création de l'association en 1984. Aujourd'hui, le centre compte 50 employés. Les conférences hebdomadaires du mardi soir remplissent facilement les 500 places de l'amphithéâtre Hubert-Curien, nommé en hommage à l'ancien ministre de la recherche (de 1984 à 1986 puis de 1988 à 1993), mentor de Michel Cabaret et très impliqué dans la promotion des CCSTI. La chaîne YouTube de l'Espace des sciences compte plus d'abonnés que celle d'Universcience, le fleuron des CCSTI à Paris, et certaines vidéos dépassent les 200 000 vues. La revue du lieu, *Sciences Ouest*, compte 12 000 lecteurs.

Le centre abrite aussi l'un des plus grands planétariums d'Europe, doté d'une capacité de 100 places. Il a été l'un des premiers à accueillir des séances en « temps réel » : sur la base de scénarios définis à l'avance, celles-ci sont commentées en direct par des animateurs, qui s'adaptent au public et à l'actualité astronomique. « *Nous mettons à jour notre ciel presque toutes les semaines. Nous avons ainsi pu tenir compte immédiatement du fait que Pluton n'était plus une planète* ».

Au rez-de-chaussée, en juin, une des fiertés de Michel Cabaret sera rénovée, le laboratoire de Merlin, un espace pour les 7 à 77 ans où l'on peut expérimenter les phénomènes physiques. Dehors, les passants peuvent même voir l'étonnement des visiteurs devant des vélos à roues carrées ou des balles en lévitation. Au sous-sol, autre particularité du lieu, de vastes réserves contiennent des expositions ambulantes rangées dans des malles ou des caisses. 177 000 personnes en ont profité hors les murs de Rennes l'an dernier, grâce à trois expositions hebdomadaires.

Dans les salles d'exposition, de jeunes animateurs contribuent à enrichir les visites. « *Parfois ce sont eux qui sauvent une exposition!* », plaide Michel Cabaret. « *Je n'ai pas trouvé d'équivalents ailleurs. J'aime bien transférer la connaissance au public et en retour*

## Michel Cabaret ouvre grand les portes du savoir

Portrait | Ce passionné a contribué à créer l'Espace des sciences, à Rennes, haut lieu de découverte et de partage de la connaissance

cela me sert pour ma recherche », souligne l'un de ces animateurs, étudiant en thèse.

« *Les gens se moquaient un peu de lui au début* », se souvient Dominique Bernard, ancien enseignant-chercheur de l'université de Rennes, membre du bureau de l'Espace des sciences. « *Même les scientifiques pensaient qu'on n'y arriverait pas. Il a aussi fallu faire bouger auprès des bibliothécaires l'image de la science* », rappelle Michel Cabaret, qui a d'abord été directeur de la rédaction du magazine *Réseau*, devenu *Sciences Ouest*. Dans les premiers temps, certaines expositions ne voyaient passer qu'une centaine de personnes...

**« J'ai eu ma vocation scientifique en visitant le Palais de la découverte, à Paris, créé par Jean Perrin, qui est un de mes modèles »**

MICHEL CABARET

Puis la ténacité de ce coureur de marathon (en moins de trois heures) a convaincu les élus locaux de soutenir et développer ce projet ambitieux. « *On a même réussi à mettre la culture scientifique dans les priorités de la région* », rappelle Paul Tréhen, à l'origine de l'association initiale et aujourd'hui président d'honneur de l'Espace des sciences. C'est lui qui a recruté le jeune Michel, fils d'agriculteurs, en maîtrise à la sortie d'un BTS. Ensemble, ils travaillent sur ce qui ne s'appelait pas encore le développement durable et plus concrètement sur la biologie des sols. Dans la forêt de Paimpont, non loin de Rennes, ils apprécient de partager avec les locaux leurs résultats et connaissances. « *Souvent on réalisait qu'on ne leur apprenait*

rien », s'amuse Michel Cabaret qui faisait là ses premières armes dans la vulgarisation.

Après des études complémentaires au Canada, puis un service militaire à Dakar, Paul Tréhen lui propose alors de rejoindre la jeune association de culture scientifique en 1987. « *Il a eu le mérite de persister dans l'idée de mettre le grand public au contact des laboratoires* », témoigne ce pionnier. « *Il n'abandonne jamais, jamais gagné. J'ai enragé lorsque j'ai vu qu'à la "une" des informations locales en novembre 2014, ce n'était pas la comète Tchourioumov-Guerrassimenko qui était en vedette, mais la visite de l'équipe de France de football à Rennes* », regrette Michel Cabaret. Il note aussi que des expositions ou des conférences suscitent des controverses, comme celles sur la génétique ou bien un exposé dans une mosquée sur la religion. Il a bien sûr observé aussi des évolutions dans les rapports entre la science et la société. « *Avant, la science était sur un piédestal et maintenant de plus en plus de gens interpellent les scientifiques. Il faut éviter d'être arrogant, mais cela reste quand même important d'écouter la parole des spécialistes* », estime-t-il.

A suivre les grandes enjambées du directeur, d'une salle d'exposition aux fauteuils du planétarium en passant par son bureau ou le studio à fond vert utilisé pour les tournages, on réalise que l'enthousiasme des débuts ne s'est pas éteint. Il faut dire que ce bâtisseur a un grand projet d'extension à Morlaix (Finistère), au cœur de l'ancienne fabrique de tabacs, fermée en 2004. Dans ce bâtiment datant du XVIII<sup>e</sup> siècle devrait ouvrir, en 2019, un espace muséographique présentant le passé industriel du lieu, mais aussi une salle de conférences et une copie du laboratoire de Merlin. Son œil pétillant en effeuillant la plaquette et les futurs plans. « *On a encore un bel avenir devant nous, assure-t-il. La curiosité est sans fin. J'aimerais revenir dans un siècle pour voir ce que nous aurons découvert!* » ■

## Les chercheurs, des mineurs de fonds

VIE DES LABOS



DAVID LAROUSSERIE

**S**i nous attendons, « *alors on est mort!* », a lancé Thierry Mandon, secrétaire d'Etat à l'enseignement supérieur et à la recherche, en clôture, le 6 avril, d'un colloque sur la diffusion des savoirs par le numérique. Quelle menace plane donc sur la recherche française? La crainte d'entraves à sa liberté par des restrictions sur des outils récents : la fouille de textes et de données (FTD). Ces techniques, dont l'essor est lié à la numérisation des documents, permettent d'explorer de vastes corpus afin d'en extraire automatiquement des informations. Par exemple, fouiller une base de données de gènes pour étudier leurs relations. Ou plonger dans un catalogue astronomique pour comparer différents objets... Rien de bien neuf ou de problématique.

Mais la FTD est aussi une nouvelle manière de lire la documentation scientifique constituée par les millions d'articles écrits et publiés par les chercheurs. « *L'un des buts est de produire de nouvelles connaissances par ces explorations* », résume Marin Dacos, directeur du Centre pour l'édition électronique, un éditeur public de ressources en sciences humaines et sociales. « *C'est comme passer de la lunette au télescope pour un astronome. Cela permet de voir mieux et plus loin* », ajoute Renaud Fabre, directeur de l'Information scientifique et technique du CNRS.

Ainsi des chercheurs génèrent automatiquement des « cartes » des collaborations entre scientifiques ou entre pays, détectent des domaines émergents, étudient les liens entre disciplines... En biologie, on repère, dans le texte des articles, des gènes ou des protéines, et des associations inédites entre eux. D'autres encore étudient la progression du « data mining », le nom anglais de la FTD, dans la littérature de recherche... « *Nous avons aussi besoin de corpus pour tester nos outils de fouille de données, par exemple pour qualifier automatiquement la "polarité" d'un texte, neutre, positif, négatif...* », complète Marin Dacos.

**Des « fouilles de textes »**

C'est là que le bât blesse car pour ces « expériences », les chercheurs doivent bien souvent télécharger les documents pour y appliquer leurs algorithmes. Autrement dit, copier des œuvres qui ne leur appartiennent pas, violant ainsi le droit d'auteur et le copyright des éditeurs. « *La France et l'Europe sont en retard sur ces questions législatives par rapport aux Etats-Unis, au Japon, au Canada, qui autorisent, pour leurs chercheurs, ces fouilles de textes* », note Renaud Fabre.

D'où la bataille actuelle autour de l'article 18 bis du projet de loi « République numérique ». Cet amendement, contre l'avis du gouvernement, a été ajouté par les députés le 18 janvier. Il autorise « *les copies ou reproductions numériques (...) en vue de l'exploration de textes et de données pour les besoins de la recherche publique, à l'exclusion de toute finalité commerciale* ». Mais le gouvernement craint l'incompatibilité avec la révision d'une directive européenne de 2001 sur le droit d'auteur, toujours en débat. Le Sénat a opté, en commission, pour une formulation priviliégiant des contrats entre éditeurs et organismes de recherche. De telles solutions existent déjà. L'un des plus grands éditeurs, Elsevier, explique au Monde que l'accord avec la France « *inclut une clause permettant aux chercheurs publics de faire du "text and data mining", sans coût additionnel* ». Mais les chercheurs regrettent certaines contraintes du contrat.

A l'inverse, « *il n'est pas nécessaire d'ajouter une exception!* », proteste François Gèze, président du Cairn, un portail de revues scientifiques, et porte-parole sur cette question du Syndicat national de l'édition. « *On pourrait travailler à des solutions techniques répondant aux besoins des chercheurs* », ajoute-t-il, en précisant que les demandes sont faibles, selon lui. Une idée serait d'héberger des « copies » techniques chez un tiers et en réserver l'accès aux chercheurs.

En même temps, un Livre blanc d'acteurs de la recherche plaide pour autoriser la FTD par une simple modification du code de la recherche, qui réglemente cette activité. Et un rapport est attendu sur le sujet avant le débat au Sénat à partir du 26 avril. Restera à fouiller parmi toutes ces solutions. ■

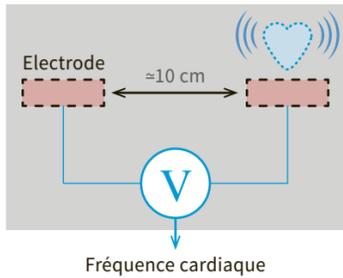
# Suivre en temps réel les performances des sportifs

Depuis plusieurs années, un petit boîtier a pris place sous les maillots des rugbymen et des footballeurs. Il est bien plus qu'un classique GPS, précis à trois mètres environ. Doté d'une centrale inertielle (gyroscopes, accéléromètres, magnétomètre), il calcule pas à pas les déplacements pour atteindre une précision dix fois meilleure. La start-up française Mac-Lloyd, née en 2013, revendique la meilleure précision face à ses concurrents Catapult, GPSports ou VX Sport, grâce à des traitements mathématiques de la douzaine de paramètres mesurés. Elle innove aussi, à partir de juin, avec une brassière intégrant des mesures de rythmes cardiaques et respiratoires à l'aide d'un tissage breveté qui n'utilise qu'un seul fil d'argent sans jonction. Une vingtaine d'équipes d'élite – Racing Club 92 (rugby), Olympique lyonnais (football), Nanterre (basket), équipes de France olympiques – sont déjà clientes. La batterie d'indicateurs fournis aide les préparateurs physiques à prévoir les séances d'entraînement ou à repérer des baisses de régime, par exemple. Ainsi l'accélération verticale, qui diminue au cours d'un match, trahit la fatigue d'un joueur. L'entreprise voudrait convaincre les chaînes de télévision d'incruster à l'écran la vitesse, le rythme cardiaque des joueurs, ou encore la force d'un choc... ■

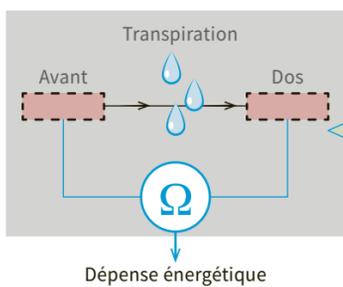
DAVID LAROUSSE

## Brassière

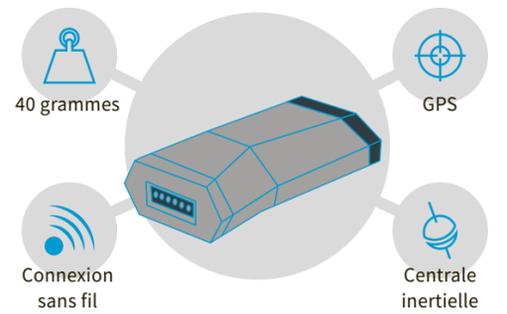
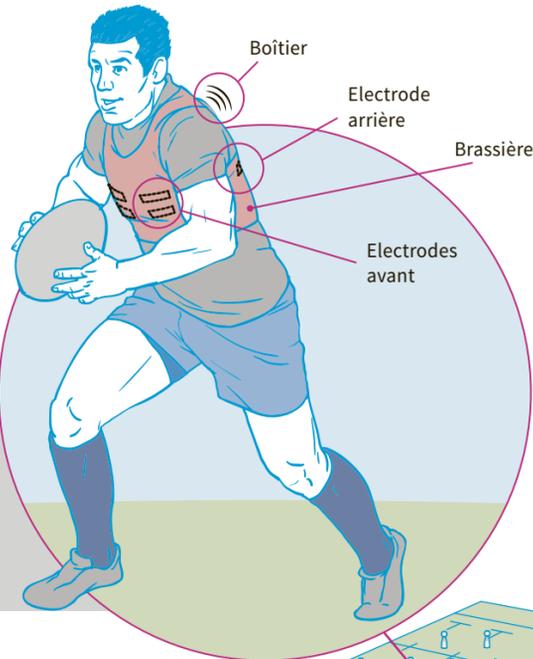
5 électrodes contre la peau mesurent des différences de potentiels et des résistances électriques afin d'estimer les rythmes cardiaque et respiratoire (les contractions musculaires locales engendrent des potentiels électriques différents) ainsi que la dépense énergétique (notamment par la sudation qui influence le passage du courant).



Fréquence cardiaque



Dépense énergétique



## Boîtier

Un accéléromètre, un gyroscope et un magnétomètre fournissent neuf mesures, 1 300 fois par seconde, complétées par trois provenant du GPS. Un traitement mathématique calcule les dix-huit données-clés sur les trois axes pour la position, la vitesse, l'accélération, la rotation.

Antenne de transmission

## Tableau de bord

Jusqu'à 150 indicateurs par joueur peuvent être recueillis en temps réel. En pratique, une dizaine d'entre eux sont utilisés : vitesse instantanée, distance totale, nombre d'accélération, de courses rapides, de chocs, déséquilibre jambe droite/gauche... Chaque sport a ses préférences : changements de direction (tennis), distance (rugby, foot), accélérations (basket).

INFOGRAPHIE : HENRI-OLIVIER

SOURCE : MAC-LLOYD

Le sexisme se nourrit de préjugés sur des différences « naturelles » entre hommes et femmes. Mais lutter contre en mettant en avant une quasi-identité entre les deux sexes, c'est faire fausse route, met en garde un collectif de chercheurs

## Les différences sexuelles méritent mieux que des caricatures

TRIBUNE

Les mythes scientifiques sont toujours néfastes à la connaissance, mais il existe des domaines où le citoyen qui souhaite s'informer aura bien du mal à trouver autre chose que des caricatures. Tel est le cas des différences entre hommes et femmes. Alors que les scientifiques sont arrivés sur les grandes lignes à un réel consensus et discutent surtout de l'interprétation à donner à des faits bien établis, le champ médiatique donne à voir une tout autre histoire... Les scientifiques seraient divisés entre ceux qui affirment une différence biologique radicale et irréductible entre femmes et hommes et ceux qui démontreraient au contraire une absence totale de différence.

Les ouvrages de John Gray – *Les hommes viennent de Mars, les femmes viennent de Vénus, Mars et Vénus sous la couette*, etc. (J'ai lu) – présentent une première caricature : un tableau où hommes et femmes n'ont presque rien de commun, où les hommes sont tous agressifs, directs, ambitieux, et les femmes douces, romantiques et bordéliques. Le spectacle *Tale of Two Brains* (« L'histoire des deux cerveaux », en DVD) de l'Américain Mark Gungor est du même tonneau : Gungor y présente un cerveau masculin composé de cases bien rangées et sans contact les unes avec les autres, alors que le cerveau féminin serait un entrelacs inextricable de connexions improbables. Le public de Gungor est hilare, et il est difficile de savoir si c'est parce qu'il prend le spectacle au second degré, ou parce qu'il s'y reconnaît. Ce qui est certain, c'est qu'une partie des lecteurs de Gray pensent avoir accès à des résultats scientifiques quand ils ne lisent qu'une fable.

Le mythe des hommes et des femmes radicalement différents ne convainc pas dans les milieux universitaires ou « intellectuels ». Mais ces milieux ont développé leur propre mythe, porté par d'autres figures. Et parce que ce mythe est transmis par des personnes qui peuvent influencer les directions que prend la recherche, il est au final plus sournoisement destructeur qu'il n'y paraît. Selon cette autre caricature, toute différence entre hommes et femmes provient nécessairement et entièrement d'une différence de traitement culturel, sauf peut-être la présence, ou non, d'un pénis pour lequel un certain chromosome et quelques hormones pourraient avoir une influence. Chez l'humain, seule exception parmi toutes les espèces animales, l'action des chromosomes et hormones sexuels se limiterait aux caractères primaires et secondaires du même nom. Cette caricature poursuit un objectif louable : contrer le sexisme en prétendant qu'hommes et femmes sont par nature parfaitement identiques au niveau cérébral et psychologique. Mais l'idée même qu'elle est bénéfique repose sur plusieurs erreurs.

D'abord, accepter avec les spécialistes qu'il existe des différences statistiques (parfois modestes et spécifiques) entre hommes et femmes n'est pas dire que chaque homme ou femme correspond à un « type » particulier. Par exemple, il est bien établi que les hommes sont en moyenne plus grands que les femmes, mais cela n'est évidemment pas applicable à chaque homme et chaque femme en particulier. La sourde inquiétude que toute différence soit systématiquement en défaveur des femmes n'est pas justifiée non plus : les garçons sont plus touchés par le retard mental et sont plus agressifs que les filles en moyenne, par exemple. Enfin, la crainte que toute différence de fait entre hommes et femmes pourrait justifier une discrimination sexuelle est encore une erreur : ce qui est naturel n'est pas nécessairement bon, et ce qui est biologique n'est pas inexorable. C'est aux citoyens de décider des comportements et des modes d'organisation de la société souhaitables, y compris si cela doit aller à l'encontre de nos prédispositions biologiques.

**« Certaines maladies ont des manifestations dissemblables selon les sexes et devraient être étudiées et traitées en conséquence »**

Certains auteurs comme Lise Eliot, Daphna Joel ou, en France, Catherine Vidal, présentent la plasticité cérébrale (le fait que le cerveau se modifie en permanence sous l'effet de l'environnement ou de l'expérience) comme la preuve que rien n'est déterminé. C'est évidemment un paralogisme : la force musculaire est aussi très plastique et extrêmement dépendante de l'entraînement. Il n'en reste pas moins que la championne du monde d'haltérophilie, même si elle soulève des dizaines de kilos de plus que la quasi-totalité de la population mondiale, reste 127 kg en dessous du record masculin. Autre argument irrecevable : les cerveaux des hommes et des femmes seraient de toute manière « indiscernables ». Cette affirmation est vraie si l'on parle de comparer les cerveaux individuellement à l'œil nu. Mais le poids est déjà une indication. Des noyaux que l'on peut voir au microscope, tout comme des analyses sophistiquées à l'IRM, permettent de les différencier un peu mieux. Et au niveau moléculaire, on peut à coup sûr différencier un cerveau féminin d'un cerveau masculin avec les chromosomes sexuels (XY pour le mâle et XX pour la femelle).

Dans le même ordre d'idées, on voit des confusions ou des oppositions qui aident à faire passer le message caricatural d'une indifférenciation totale. Confusion entre une différence de traitement (le sexisme qui est condamnable) et des différences statistiques de fait (qui ne sont pas du sexisme – de toute évidence les faits ne peuvent se plier à nos idéaux). Opposition injustifiable entre le génétique (supposé irréductible et fixe) et le culturel (supposé malléable). Opposition absurde entre le corps d'un côté (seul lieu d'une différenciation sexuelle) et l'esprit de l'autre. On aurait donc à choisir d'adhérer soit à l'idée d'une différence radicale entre les sexes, rejoignant la cohorte des conservateurs moisissés, soit à celle d'une indifférenciation totale, embrassant la voie de l'éthique et du progrès.

La vision véhiculée par John Gray est fautive, et dangereuse pour cette raison. La vision d'une parfaite identité entre hommes et femmes est elle aussi dangereuse. Des médecins et des chercheurs militent depuis des années pour que soient prises en compte les différences entre hommes et femmes, car certaines maladies ont des manifestations dissemblables selon les sexes et devraient être étudiées et traitées en conséquence. Or, les médicaments sont le plus souvent testés majoritairement sur des mâles (humains et non-humains). En conséquence, la médecine est mieux adaptée aux hommes qu'aux femmes, et cela en partie à cause du présumé faux d'une parfaite identité.

La science montre des différences statistiques cérébrales et psychologiques subtiles et localisées entre hommes et femmes, vraies seulement en moyenne. Les tentatives pour expliquer ces différences par des effets purement sociaux se sont soldées par des semi-échecs : il est prouvé que la culture intervient, mais elle n'arrive pas à expliquer l'ensemble des observations (par exemple, pourquoi certaines différences sont d'autant plus grandes que la culture environnante est égalitaire ?). Il est tout aussi absurde de faire de ces petites disparités des frontières hermétiques en affirmant une absolue séparation des sexes que de les nier ou de prétendre qu'elles s'expliquent parfaitement par l'existence d'une culture sexiste (par ailleurs bien réelle). Ce n'est pas seulement faux : ce mythe de l'indifférenciation est sans doute en partie la cause de la quinzaine d'années de retard que la France accuse par rapport au reste de la communauté médicale européenne eu égard au développement d'une médecine (dont la psychiatrie) adaptée à chacun.

Il est temps de comprendre que la recherche de la vérité n'est pas un frein au développement de la morale et aux progrès de la justice, bien au contraire. Il est temps de comprendre que les scientifiques qui trouvent des différences ne justifient en aucun cas la discrimination. ■

Peggy Sastre, docteur en philosophie des sciences, auteur et journaliste ; Nicolas Gauvrit, chercheur en psychologie cognitive, agrégé de mathématiques ; Claudine Junien, professeur émérite de génétique, membre de l'Académie de médecine ; Franck Ramus, directeur de recherche au CNRS ; Magali Lavielle-Guida, docteur en psychologie ; Jacques Balthazard, docteur en biologie, professeur émérite, université de Liège, Belgique ; Elena Pasquinelli, chercheuse en sciences cognitives ; Michel Raymond, directeur de recherche au CNRS ; Charlotte Faurie, chargée de recherches, université de Montpellier-II.

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre ouverte au monde de la recherche. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à [sciences@lemonde.fr](mailto:sciences@lemonde.fr)