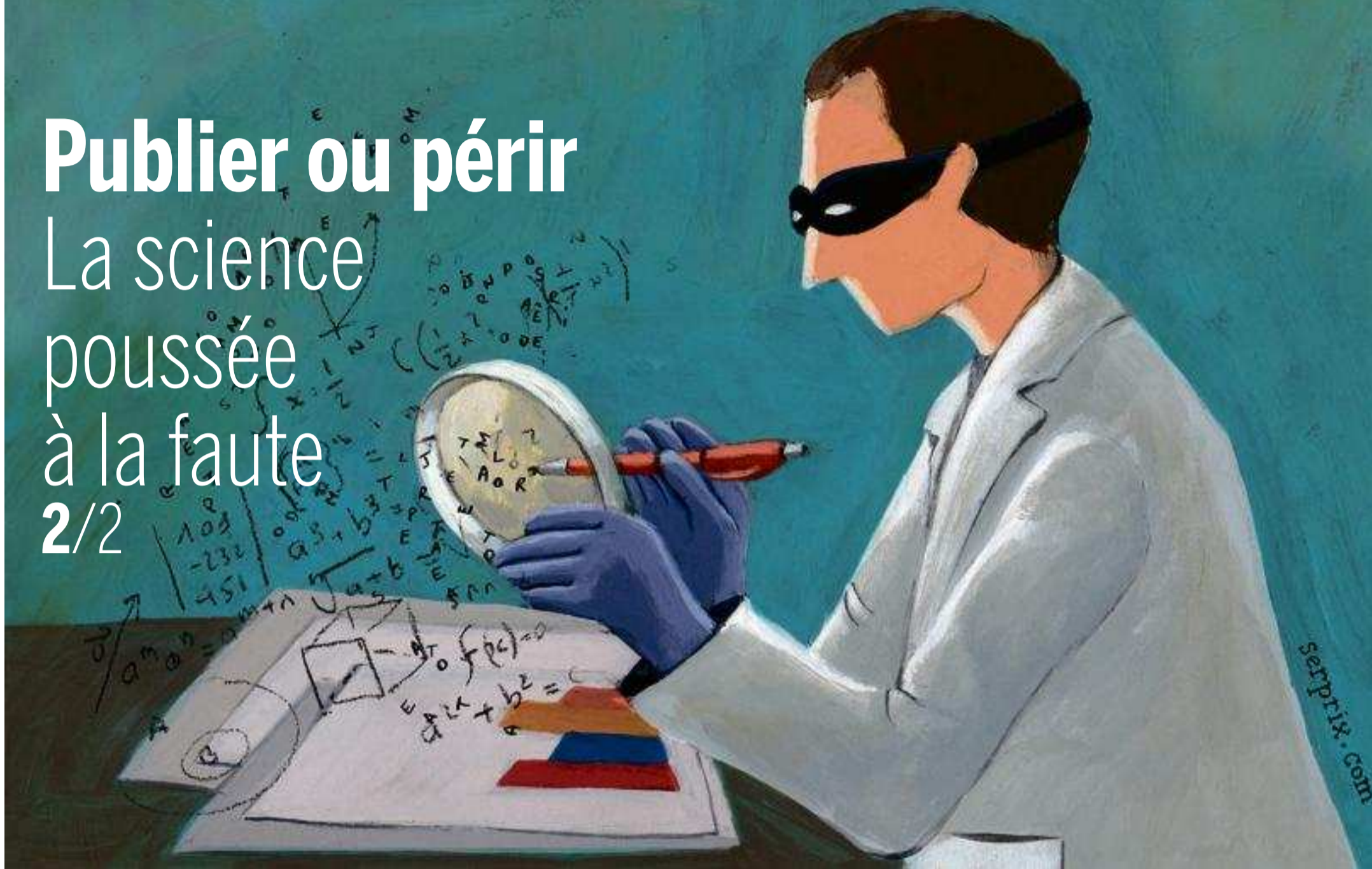


science Le Monde & médecine

Publier ou périr

La science
poussée
à la faute
2/2



SYLVIE SERPRIX

Deuxième volet de notre enquête réalisée avec « Le Temps », sur les effets pervers de l'impératif de productivité scientifique. La probité et la fiabilité de la recherche cèdent-elles du terrain en raison de la nécessité de publier pour survivre ?

Septembre 2017. Un auteur d'une étude publiée dans la revue *Cell* conteste la décision du journal de retirer son article suite à l'impossibilité de reproduire les résultats. L'Afrique du Sud réalise qu'elle a dépensé des millions de dollars pour publier les travaux de ses chercheurs dans des revues, qui se révèlent être des journaux prédateurs, c'est-à-dire sans évaluation rigoureuse des articles. Les *Annals of Surgery* publient par inadvertance un article refusé et mettent deux ans à le retirer de leur collection. La revue *Science* diffuse un avertissement indiquant qu'une enquête est en cours sur un article, deux jours après sa publication, suite à des doutes sur les données fournies par l'équipe. Sa concurrente, *Nature*, reconnaît dans un éditorial qu'un de ses précédents éditos est « faux » et que la revue « n'avait pas réalisé à quel point il pouvait être néfaste ». Le Chinois Lu Jinkui a été renvoyé de son université, l'East China Normal University à Shanghai, pour avoir leurré le journal dans lequel il publiait, et évalué lui-même son propre travail.

Tous ces « faits divers » scientifiques sont tirés du site Retraction Watch, qui depuis 2010, s'intéresse aux articles retirés par les revues et aux côtés du système de publication.

Ils pourraient rendre pessimiste si, en même temps qu'ils se déroulaient, la littérature scientifique et la connaissance ne s'enrichissaient pas de dizaines de milliers d'articles hors de tout soupçon. Ils révèlent en tout cas à quel point la recherche, les chercheurs et parfois la science elle-même sont sous tension. Le premier volet de notre série réalisée avec *Le Temps* en pointait des raisons : la mainmise des revues sur la connaissance, les effets délétères des classements tirés du nombre de publications ou les défauts de l'évaluation par les pairs.

Problèmes graves

Ce second volet va plus loin dans la description des pratiques des chercheurs et les coulisses des laboratoires. Epidémie de manipulation d'images, mésusage de méthodes statistiques, faible incitation à corriger les erreurs... minent la qualité des travaux. Le lancement d'un manifeste

pour la science reproductible ou bien l'inquiétude qu'exprime le psychologue Chris Chambers, auteur de *The Seven Deadly Sins of Psychology* (« Les sept péchés mortels de la psychologie », Princeton University Press, non traduit), de voir sa discipline comparée à l'alchimie, montrent que les problèmes sont graves.

Heureusement, comme pour le premier volet, il est aussi frappant de voir le foisonnement de propositions pour sortir de ces écueils. Les solutions fourmillent, attaquant tous les aspects : meilleures méthodes statistiques, guide de bonnes pratiques, charte, logiciels de détection de plagiat et de retouche d'images, évaluation a posteriori, incitation à répliquer les travaux, transparence des protocoles, ouverture des données, voire disparition des revues telles qu'on les connaît. L'élan est là, souvent porté par des jeunes chercheurs et facilité par des innovations numériques. Reste à le relayer aussi au plus haut niveau. ■

DAVID LAROUSSIERE

→ LIRE PAGES 4-5

Les Nobel de médecine 2017 ont du rythme

Les Américains Jeffrey Hall, Michael Rosbash et Michael Young ont été distingués pour leurs travaux sur les horloges biologiques contrôlant le rythme circadien.

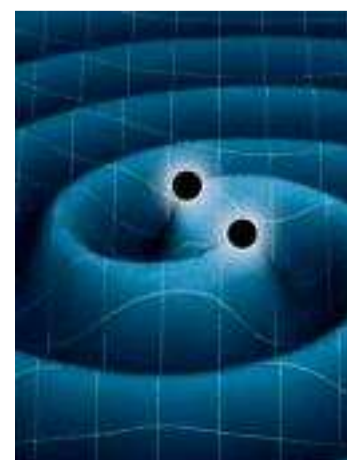
PAGE 2



Des porcs modifiés pour donner des organes

Des séquences d'origine virale ont été retirées du génome de porcelets afin de limiter un risque d'infection lors de transplantations. Une avancée vers les xéno greffes.

PAGE 3



De l'or pour des chasseurs d'ondes gravitationnelles

Alain Brillet et Thibault Damour vont recevoir la médaille d'or du CNRS pour leurs travaux sur la détection de ces rides de l'espace-temps qui traversent le cosmos.

PAGE 8

Le Nobel de médecine aux rythmes du vivant

MÉDECINE - Les Américains Jeffrey Hall, Michael Rosbash et Michael Young sont récompensés pour leurs travaux sur les mécanismes de l'horloge circadienne qui règle la vie sur un cycle d'environ vingt-quatre heures

La terre tourne. C'est un fait établi et qui n'est pas sans conséquence : sur la planète, le jour alterne avec la nuit, avec les variations de luminosité et de température qui s'ensuivent. Les êtres vivants, des bactéries aux plantes en passant par les humains, s'y sont adaptés en développant une horloge biologique interne qui égrène les heures selon un rythme dit circadien, puisque selon son étymologie – littéralement « autour du jour » – il couvre les 24 heures d'une journée. Grâce à cette adaptation, les organismes optimisent leur fonctionnement, notamment en sécrétant à des moments précis du cycle diverses hormones. Et les dysfonctionnements de cette horloge favorisent notamment les maladies métaboliques et les cancers.

Si l'existence de ces cycles est connue depuis plusieurs siècles, cette horloge biologique n'a été mise en évidence qu'à partir des années 1970. Elle s'appuie sur des mécanismes moléculaires complexes, élucidés par les trois chercheurs récompensés, lundi 2 octobre, par le prix Nobel de médecine : Jeffrey Hall, Michael Rosbash et Michael Young, qui ont essentiellement travaillé sur des mouches du vinaigre, les célèbres drosophiles.

Reconnaissance du domaine

« C'est une excellente nouvelle, que j'attendais depuis longtemps pour un domaine pas très bien considéré par les institutions scientifiques, se réjouit Francis Lévi, directeur de recherche émérite du CNRS au laboratoire Plasticité du cerveau (CNRS-ESPCI Paris). Ces trois chercheurs ont démonté les mécanismes de l'horloge circadienne moléculaire chez la drosophile. Leur présence en a été confirmée chez les mammifères. Elle n'avait donc rien d'un fantôme, comme certains le pensaient. »

Ce sont en effet des travaux importants, puisque de nombreux gènes sont régulés par notre horloge biologique et que notre physiologie est étroitement ajustée aux différentes phases de la journée. Sans elle, notre schéma de sommeil, notre comportement alimentaire, notre production d'hormones, notre pression artérielle, notre température, entre autres, ne seraient pas régulés. Ainsi, la sécrétion de mélatonine dans la soirée va préparer le sommeil, tandis que la libération de cortisol au petit matin préfigure notre réveil. La perturbation de notre horloge interne provoque des altérations du sommeil qui retentissent sur le fonctionnement cérébral. Elle est liée à la dépression, à des troubles cognitifs.

Les premières observations scientifiques du rythme circadien ont été effectuées sur des plantes. En 1729, l'astronome français Jean-Jacques Dortous de Mairan se livre à une expérience sur des plants de mimosa. Les feuilles de *Mimosa pudica* se déploient à la lumière du jour et, au contraire, commencent à se rétracter à l'arrivée du crépuscule. Enfermant la plante dans un placard, Dortous de Mairan constate que, en l'absence de lumière, les feuilles continuent de suivre ces oscillations foliaires.

Chez l'homme, l'expérience du spéléologue Michel Siffre, qui passe deux mois au fond du



Jeffrey Hall, Michael Rosbash et Michael Young (de gauche à droite), en 2013. HANDOUT/AFP

gouffre de Scarasson en 1962, montre que, malgré l'absence de repères temporels – qui lui font perdre le compte des jours –, son horloge biologique continue de suivre un rythme de 24 heures et demie.

Viennent ensuite, au cours des années 1970, les travaux de l'Américain Seymour Benzer et son disciple Ronald Konopka, qui s'intéressent aux gènes susceptibles de contrôler le rythme circadien. Ils constatent que l'horloge biologique des drosophiles est perturbée par les mutations d'un gène jusqu'alors inconnu qu'ils baptisent *period*.

Travaillant eux aussi sur des drosophiles, Jeffrey Hall et Michael Rosbash (université Brandeis, Boston) ainsi que Michael Young (université Rockefeller, New York) parviennent à isoler le gène *period* en 1984. Les chercheurs bostoniens poursuivent leurs investigations et mettent en évidence un fait : la protéine PER, codée par le gène *period*, s'accumule au cours de la nuit et elle est dégradée au fil de la journée. Les taux de protéines PER oscillent de manière synchrone avec le rythme circadien sur une durée de 24 heures. Restait encore à comprendre les mécanismes sous-tendant l'horloge biologique.

Hall et Rosbash ont émis l'hypothèse d'une boucle de rétro-inhibition dans laquelle la protéine PER inhiberait sa synthèse en bloquant le

gène *period*, ce qui régulerait en continu son niveau au cours du cycle. Il fallait comprendre comment cette protéine, produite dans le cytoplasme des cellules, était capable de rentrer dans le noyau et de bloquer le gène à l'origine de sa synthèse. C'est la pièce manquante que Michael Young va identifier. Il découvre un second gène lié à l'horloge circadienne, qu'il baptise *timeless*. Il code pour la protéine TIM. La combinaison des deux protéines PER et TIM leur permet de pénétrer dans le noyau où elles bloquent alors l'activité du gène *period*.

Synchronisation avec la lumière

La boucle était bouclée, mais restait l'énigme du mécanisme assurant la fréquence d'un cycle de 24 heures. Là encore, Michael Young intervient en découvrant un nouveau gène, nommé *doubletime*. Celui-ci code pour la protéine DBT, qui retarde l'accumulation de la protéine PER en favorisant sa dégradation lorsque arrive le matin.

Les trois lauréats du Nobel de médecine 2017 ont aussi à leur actif l'identification d'autres composants de l'horloge biologique expliquant sa stabilité et son fonctionnement, notamment le mécanisme par lequel la lumière la synchronise.

« Ces travaux ont permis une meilleure compréhension des raisons qui font que la destruction du rythme circadien favorise les maladies

métaboliques comme le diabète, l'obésité, l'hypertension artérielle, mais aussi le cancer, souligne Francis Lévi. Ils débouchent également sur des applications en chronothérapie, qui tiennent compte de l'horaire d'administration d'un médicament et sa dose. Des recherches sont en cours en rhumatologie, en diabétologie, en psychiatrie et dans les maladies du système immunitaire. Dans des modèles animaux, il a été montré des variations d'efficacité d'un facteur quatre ou cinq selon l'horaire d'administration. »

Les recherches cliniques ont également permis d'individualiser des « chronotypes » : « De même qu'il existe des petits et des grands, des maigres et des gros, certaines personnes sont actives tôt dans la journée ou non, avec un substrat hormonal bien défini », explique le chercheur.

« Je reviens d'un atelier aux Etats-Unis organisé par les Instituts nationaux de la santé et l'Institut national du cancer afin d'élaborer le plan de financement de la recherche en chronomédecine. C'était une grande reconnaissance pour ce domaine. Le choix du jury du Nobel vient la confirmer. Il n'y a plus qu'à espérer que nos organismes de recherche publique se décident à lancer des appels d'offres ciblés sur la chronobiologie plutôt que nous laisser nous contorsionner pour entrer dans ceux proposés jusqu'ici », espère Francis Lévi. ■

PAUL BENKIMOUN

Pour augmenter la sensation de sucré, il faut tuer l'amer

CHIMIE - Des chercheurs allemands viennent d'élucider les mécanismes qui sous-tendent le puissant pouvoir sucrant des édulcorants artificiels

Fiston vous a encore moucheté le visage avec votre « délicieuse » purée maison aux choux de Bruxelles ? Tout est normal. Outre une probable part de roublardise dont on ne discutera pas ici, il y a une vraie raison biologique derrière tout cela. En réalité, nous sommes génétiquement équipés pour détecter l'amertume (comme celle du chou), et ce, à des niveaux très faibles.

Sur les bourgeons gustatifs de notre langue, vingt-cinq récepteurs se décarcassent pour pister le moindre goût amer. Un véritable bataillon, si l'on met en regard le goût sucré, pour lequel un seul récepteur fait tout le travail et qui a, de plus, besoin d'avoir du sucre jusqu'au cou pour daigner sortir de sa torpeur.

Pourquoi une telle différence ? « Nous sommes très sensibles à l'amertume, car cela nous protège contre l'ingestion de molécules potentiellement toxiques, explique Loïc Briand, directeur de recherche à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA). Si l'on ne veut pas s'empoisonner, il faut pouvoir les détecter à l'état de traces. » (Mais ne lui faites pas dire ce qu'il n'a pas dit : le chou de Bruxelles a beau être amer, il n'est pas toxique pour autant – pas d'excuse !)

A l'inverse, « nous sommes peu sensibles [au goût sucré], note le chercheur. Le but est de consommer beaucoup de sucre, car cela fournit de l'énergie. Notre organisme est fait pour stocker ». Mais qui dit grosse consommation de douceurs dit risque augmenté

de prise de poids et de diabète. La solution de l'industrie agro-alimentaire : généraliser l'utilisation d'édulcorants de synthèse, comme le cyclamate ou la saccharine, dont les pouvoirs sucrants sont respectivement 30 et 400 fois supérieurs à celui de notre sucre traditionnel. Ces édulcorants avaient a priori tout pour plaire : « Ils n'apportent pas d'énergie, ne rentrent pas dans le métabolisme, et ils sont sucrés ! », lance Loïc Briand.

Branle-bas de combat

Seul inconvénient : ils laissent en bouche un arrière-goût amer désagréable. Car contrairement au sucre, les sucettes ne se fixent pas simplement sur le récepteur du goût sucré, ils activent aussi ceux de l'amer. « Il y a un décou-

page temporel car le sucré, qui masque l'amertume, ne dure pas très longtemps en bouche », précise Loïc Briand. Branle-bas de combat chez les industriels, qui finissent par trouver, en association cyclamate-saccharine, une solution miracle : pour une raison alors obscure, le mélange des deux molécules amères débouche sur une saveur bien plus agréable.

Mais comment est-il possible que le mélange de deux saveurs désagréables produise quelque chose de goûteux ? Imaginez seulement une soupe d'endives agréablement de radis noir...

Soixante-deux ans après la mise au point du fameux mélange cyclamate-saccharine, le mystère vient d'être élucidé. Des chercheurs allemands du German Ins-

tute of Human Nutrition, spécialistes du goût et de l'amertume, ont observé, grâce à des cultures cellulaires exprimant les différents récepteurs de l'amer, que la saccharine et le cyclamate ne se cantonnaient pas à l'activation de leurs récepteurs respectifs. En réalité, la saccharine détient aussi le pouvoir de juguler l'amertume du cyclamate en bloquant le récepteur de ce dernier, et inversement. Une inhibition mutuelle, en quelque sorte. Tout en gardant un goût sucré intéressant.

Ces résultats, publiés en ligne le 14 septembre dans *Cell Chemical Biology*, « répondent à une très vieille question », estime Roland Saless, ingénieur agronome à l'INRA et coauteur du livre *Odorat et goût. De la neurobiologie des sens chimiques aux applications*

(éditions Quæ, 2012). « Cette combinaison donnait l'impression que l'on augmentait le goût sucré, mais en réalité on supprimait le goût amer. » « On peut enfin expliquer des phénomènes dont on se rend compte tous les jours, renchérit Loïc Briand. Cela permet de réconcilier ce qui est observé au niveau sensoriel et les données sur les récepteurs. »

La technologie développée par le laboratoire présente également un intérêt pour l'industrie agro-alimentaire, qui est « lancée dans la course aux édulcorants, indique Roland Saless. Cela ouvre la voie à des tests sur des molécules que l'on connaît déjà, ainsi que sur des composés non encore explorés. » Les becs sucrés ont de beaux jours devant eux. ■

SYLVIE BURNOUF

Des cochons bientôt donneurs d'organes ?

MÉDECINE - En inactivant des agents infectieux potentiellement transmissibles à l'humain, une équipe a levé un obstacle aux transplantations d'organes de porc chez l'homme

Chaque jour, en Europe, 18 malades candidats à une transplantation d'organe meurent faute d'avoir reçu un greffon. Au 1^{er} janvier 2017, 14 533 patients se trouvaient sur la liste d'attente d'Eurotransplant. Ils étaient 11 244 en 2016. Cette année-là, 6 988 greffes d'organes provenant de donneurs décédés ont été réalisées. Pour pallier la pénurie de greffons humains, des chercheurs envisagent d'utiliser des organes de porc, et une équipe internationale vient de rapporter dans la revue *Science* avoir franchi une étape en ce sens.

« L'alternative porcine comporte un risque infectieux potentiel lié à la présence de rétrovirus faisant partie intégrante du génome de cette espèce. Ces séquences rétrovirales endogènes sont les vestiges d'infections ancestrales. Baptisées PERV – pour porcine endogenous retrovirus –, elles se transmettent au fil des générations. Ces rétrovirus sont donc présents dans tous les élevages, quel que soit le niveau sanitaire », souligne Yannick Blanchard, chercheur à l'Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES, Ploufragan, Côtes-d'Armor). Bien qu'une infection à PERV n'ait jamais été observée chez l'homme, des PERV peuvent infecter en laboratoire des cellules humaines maintenues en culture et s'intégrer dans le génome humain.

Edition du génome

Ce que l'équipe de chercheurs chinois, américains et danois décrit dans *Science*, c'est précisément la création de porcelets dont 100% des séquences PERV ont été inactivées. Ils ont utilisé Crispr, outil d'édition du génome, pour introduire dans des fibroblastes embryonnaires porcins une mutation dans une région commune à toutes les séquences PERV, ce qui a permis de toutes les inactiver.

Les chercheurs ont ensuite récupéré les noyaux avec leur ADN modifié et les ont transférés dans des ovocytes porcins vidés de leur noyau. Une fois transplantés à 17 truies porteuses, ces ovocytes ont donné naissance, en Chine, à 37 porcelets dont les séquences PERV ne représentent plus aucun risque infectieux, selon les auteurs.



Ces porcelets ont été modifiés génétiquement pour limiter le risque infectieux lié aux greffes chez l'homme. EGENESIS

« Sous réserve que ces résultats soient confirmés, il semble que l'épée de Damoclès que représentait le risque rétroviral endogène porcine est écartée », déclare Yannick Blanchard. George Church et Luhan Yang, les chercheurs de l'université Harvard qui ont dirigé l'étude, ont fondé eGenesis, une start-up destinée à commercialiser à des fins de xénotransplantation des tissus et organes porcins modifiés par Crispr.

Reste que les véritables obstacles tiennent avant tout au risque de rejet immunologique, souligne le professeur Jörg Seebach, chef du service d'immunologie et d'allergologie aux hôpitaux universitaires de Genève. En effet, les différences génétiques entre le porc et l'homme sont telles qu'elles entraînent une réaction immunitaire aboutissant au rejet du greffon animal.

En cas de xénotgreffe, un rejet hyperaigu se produirait dans les minutes qui suivent car le patient receveur possède déjà des anticorps capables de reconnaître des sucres présents sur les cellules porcines. Ces anticorps préexistent car le système immunitaire hu-

main a appris très tôt à reconnaître comme étrangers ces motifs également présents à la surface de bactéries. Il est possible d'éviter un rejet hyperaigu en greffant des organes porcins ayant subi des modifications génétiques. On peut inactiver des gènes porcins afin que l'animal n'exprime pas certaines protéines à la surface des cellules ou introduire des gènes humains dans le but d'induire une tolérance immunologique chez le receveur. La combinaison des deux approches a permis d'obtenir des porcs multitransgéniques.

Minimiser le risque de rejet

Une fois passé le cap du rejet hyperaigu, un autre écueil est le rejet différé, caractérisé par des anomalies de la coagulation conduisant à la perte du greffon. Là encore, des porcs transgéniques ont été créés pour minimiser ce risque. Lors du 14^e congrès de l'Association internationale de xénotransplantation qui s'est tenu en septembre à Baltimore (Maryland, États-Unis), une équipe allemande a annoncé être parvenue à maintenir fonctionnel pendant 90 jours un cœur de

porc greffé à la place de celui d'un babouin. De même, des reins de porcs transgéniques ont fonctionné pendant 405 jours chez le macaque. Enfin, des poumons porcins sont restés fonctionnels pendant 10 jours chez le babouin.

« Ces progrès justifient d'aller plus loin en débutant des essais cliniques chez l'homme. Les résultats ne pourront être que meilleurs que ceux obtenus chez l'animal car nous sommes de meilleurs médecins pour les humains que pour des singes, quand il s'agit de gérer des complications et d'adapter le traitement immunosuppresseur ! », estime le professeur Jörg Seebach. Cet enthousiasme pour les xénotgreffes est également soutenu aujourd'hui par des investisseurs privés américains. Selon le spécialiste suisse, « on peut s'attendre à ce que les premières greffes d'organes de porcs chez l'homme aient lieu en Chine d'ici deux ans. Je suis persuadé que les Chinois ont déjà combiné chez des porcs la technique Crispr d'inactivation de séquences PERV et l'approche multitransgénique pour maîtriser les phénomènes de rejet ». ■

MARC GOZLAN

Le patient sorti d'état végétatif est mort

NEUROSCIENCES - Le décès de cet homme n'avait pas été annoncé, à la demande de la famille

C'est à notre demande que le décès de Guillaume n'a pas été révélé, pour des raisons privées. La mère de Guillaume T. a accepté de parler au *Monde*, pour éclairer les circonstances qui ont conduit une première médicale encourageante, à peine annoncée, à susciter la suspicion. Son fils de 35 ans, plongé depuis quinze ans dans un état végétatif à la suite d'un accident de la route, a bénéficié d'une technique de stimulation du nerf vague qui lui a permis de récupérer des bribes de conscience. Les résultats de cet essai clinique, conduit par une équipe associant l'institut des sciences cognitives Marc-Jeanne-rod (CNRS, université de Lyon) et les Hospices civils de Lyon, ont été publiés dans la revue *Current Biology*, lundi 25 septembre. *Le Monde* en a rendu compte, dans le supplément « Science & médecine » du 27 septembre, sans mentionner

que le bénéficiaire de cette nouvelle approche était depuis décédé.

Et pour cause : ni l'article de *Current Biology* ni les chercheurs, pourtant interrogés sur l'avenir de ce patient, n'en avaient fait état. C'est dans un entretien au *Parisien*, mercredi 27 septembre, que son décès a été révélé. Une telle omission a suscité de nombreuses questions. Angela Sirigu, qui a codirigé ces travaux (et contribue au supplément « Science & médecine »), indique s'être conformée au souhait des proches.

Eviter un amalgame

« Nous en avions discuté avec la famille. Ensemble, nous avions pensé, à tort, que cela allait entraîner un amalgame entre la stimulation et le décès, confirme le professeur Jacques Luaute, qui suivait Guillaume T. depuis plusieurs années dans son service de réadaptation neurologique. On était

arrivés à la conclusion que ce décès – sans lien avec l'expérimentation – était un événement familial intime. C'était une erreur, car il était évident qu'on nous demanderait ce que ce patient était devenu. »

Guillaume T. a fait l'objet, conformément à un protocole visé par un comité de protection des personnes (CPP) lyonnais, d'une stimulation nerveuse entre janvier et septembre 2016. Sa famille a ensuite souhaité poursuivre ces stimulations. « Il était beaucoup plus présent, j'ai vu les bénéfices pour mon fils, témoigne sa mère. Cela a été une très belle période. »

En février 2017, la famille fait état d'apnées du sommeil, un effet indésirable de la stimulation du nerf vague déjà décrit chez des patients en bénéficiant dans le cadre d'une épilepsie. Après diminution de l'ampérage, le stimulateur implanté a été définitivement éteint en mars. « En juin, alors qu'il faisait

très chaud, relate sa mère, il a fait une infection qui s'est aggravée en quelques jours. » Elle sera fatale. Il n'y a pas eu d'autopsie.

Aurait-il fallu faire état du décès dans le manuscrit accepté par la revue *Current Biology*? « La mort du patient, qui est une triste nouvelle, ne change pas les résultats exposés dans l'article », répond-on à Cell Press, maison mère de la revue. Cette omission surprend cependant dans la communauté scientifique. Selon Steven Laureys (université de Liège, Belgique), « par souci d'honnêteté, il aurait été bien de le mentionner. La transparence, c'est très important. Mais cela n'enlève rien, selon moi, à l'intérêt potentiel de cette technique ».

L'équipe lyonnaise, autorisée à inclure quatre patients dans l'étude pilote, n'a pas retenu de nouveaux candidats à ce jour. ■

FLORENCE ROSIER
ET HERVÉ MORIN

TÉLESCOPE

GÉNÉTIQUE

Deux armes contre le paludisme

Deux équipes internationales ont mis au point chacune une stratégie génétique destinée à rendre les moustiques résistants au parasite responsable du paludisme, le plasmodium. La première a identifié une bactérie sexuellement transmissible et acquise par la descendance des moustiques. Ils l'ont manipulée afin qu'elle exprime diverses protéines qui détruisent le parasite. Plus de 90% des œufs produits par les insectes étaient exempts de l'agent infectieux. La seconde équipe a modifié génétiquement des moustiques afin de les rendre résistants au plasmodium, ce qui a eu pour effet de modifier leur microbiome (l'ensemble des gènes présents dans le microbiote). Les chercheurs ont constaté que les mâles modifiés préféraient les femelles non modifiées et les sauvages les femelles modifiées, ce qui accroît la dissémination de la résistance au parasite. > Wang et al. & Pike et al., « *Science* », 29 septembre.

ARCHITECTURE

Arago revient à Paris

Le 2 octobre, une statue a été inaugurée en l'honneur de l'astronome François Arago (1786-1853), l'année des 350 ans de la création de l'Observatoire de Paris. L'établissement fut dirigé par Arago de 1843 à sa mort et la coupole qu'il fit

construire pour développer ce laboratoire porte désormais son nom. Œuvre de l'artiste belge Wim Delvoye, le monument est installé dans les jardins de l'Observatoire, de l'autre côté du boulevard où subsiste le socle d'une précédente statue détruite en 1942. Cette sculpture originale est déformée en une spirale prête à faire éclater le corps en autant de facettes variées du célèbre savant, opticien, astronome, arpenteur du méridien, vulgarisateur et homme politique notamment. (PHOTO: WIM DELVOYE)



VIROLOGIE

Une mutation expliquerait la soudaine dangerosité de Zika

Identifié en 1947 chez des singes d'une forêt ougandaise, le virus Zika a longtemps été considéré comme une menace sanitaire mineure, jusqu'au déclenchement d'une épidémie sévère en Polynésie française en 2013-2014 puis sur le continent américain, notamment au Brésil. Une équipe internationale pense avoir découvert l'origine de cette soudaine augmentation de la dangerosité du virus, qui peut notamment engendrer des microcéphalies chez les fœtus dont la mère a été piquée par un moustique qui en est vecteur. C'est une mutation survenue en 2013 dans le génome du virus qui aurait renforcé son infectivité vis-à-vis de cellules progénitrices neurales humaines, et aurait causé des microcéphalies chez les fœtus de souris infectées. > Yuan et al., « *Science* », 29 septembre.

55,7

C'est, en millions, le nombre d'avortements réalisés chaque année dans le monde, dont un peu moins de la moitié (25,5 millions) ne se sont pas déroulés dans des conditions de sécurité suffisantes. C'est ce que montre une étude menée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'institut américain Guttmacher, parue dans la revue *The Lancet* le 27 septembre. Près de la moitié des interruptions de grossesse seraient, selon l'OMS, pratiquées par des personnes non qualifiées ou dans un environnement non conforme aux normes médicales minimales. Ces avortements sont responsables d'environ 47 000 décès par an. Des efforts accrus sont nécessaires, en particulier dans les pays en développement, pour assurer l'accès à un avortement plus sûr, selon l'institution onusienne.

Publier ou périr

La rigueur scientifique à l'épreuve

DE LA BIDOUILLE À LA FRAUDE

Copier-coller d'images, bidouillage statistique, exagération des résultats, méconnaissance des méthodes utilisées, lenteur, voire refus, à corriger des erreurs... les arrièrecours des laboratoires ne sont pas toujours reluisants.

En juin 2016, dans le journal *mBio*, un criblage de plus de 20 000 articles tirés de 40 journaux scientifiques a repéré près de 4% de problèmes avec des images présentes à l'appui des démonstrations. Le taux dépassant 12% pour un journal de l'échantillon. Les « erreurs » vont de la simple duplication de parties d'images à la retouche frauduleuse en passant par le repositionnement ou l'inversion de certaines parties. Des pratiques pas forcément pendables mais qui demandent à être justifiées.

La base de données de Retraction Watch, un site lancé en 2010 pour suivre l'actualité des retraits ou corrections d'articles, recense plus de cas problématiques pour « manipulation » d'images que pour « plagiat de texte » (le plagiat d'images existant également !): 294 plagiat d'articles pour 422 duplications, 305 manipulations et 134 falsifications d'images. Un autre site, PubPeer, lancé en 2012 pour accueillir des discussions anonymes sur des articles déjà publiés, s'est vite transformé en forum de la traque des images manipulées. Ce qui a conduit à bien des corrections et retraits d'articles.

Manipulations d'images

L'un des drames est « que les reviewers ne regardent pas les images », constate Elisabeth Bik, microbiologiste de la société de génomique microbienne uBiome en Californie et coauteure de l'étude de *mBio*. Elle pointe aussi un autre problème : l'absence de réactions des auteurs ou des journaux qui publient les articles litigieux. Elle estime avoir signalé plus de 800 cas qui ont conduit à une trentaine de retraits, « mais, dans la grande majorité des cas, je n'ai pas eu de réponses ».

La spécialiste, pour expliquer ces pratiques plus ou moins discutables, évoque « l'erreur, le manque de temps pour faire les expériences de contrôle, la précipitation à publier ou l'envie de cacher des choses ». Elle est aussi tombée sur des récidivistes ayant plus d'une vingtaine d'images retou-

LA PRESSION À PUBLIER AUGMENTE LE RISQUE DE MAUVAISES PRATIQUES

chées, preuve de dysfonctionnements plus graves. Dans un nouvel article à paraître, elle a mis en avant des corrélations. La pression à publier augmente le risque de mauvaises pratiques, tandis qu'un contrôle « social » plus important, c'est-à-dire l'existence de règles ou de sanctions, le limite. Pour résorber ces problèmes, la chercheuse est engagée dans la mise au point de logiciels de détection automatique de retouche d'images, dont commencent à se doter les éditeurs.

Les chercheurs savent aussi s'arranger avec les statistiques, l'outil qui leur sert à analyser leurs résultats leur permet surtout de clamer une découverte (l'absence de découverte faisant rarement l'objet de publication). Le 1^{er} septembre, plus de 70 chercheurs ont appelé dans *Nature Human Behaviour* à « redéfinir la signification statistique ». Pour eux, « les standards statistiques pour revendiquer une découverte sont tout simplement trop bas dans beaucoup de domaines de la science ». Et ils appellent à relever ces standards. A commencer par le plus connu d'entre eux, la valeur-p. Le « standard » veut qu'un test statistique mesurant la différence entre deux hypothèses et donnant une valeur-p inférieure à 5%, soit significatif, et donc digne d'être publié.

Premier problème, depuis des années, des chercheurs ont alerté sur le fait que certains ignorent la définition même de cette valeur-p. Beaucoup croient ainsi que ce paramètre désigne la probabilité qu'un résultat expérimental soit un faux positif. Mais ce n'est pas vraiment le cas.

David Colquhoun de l'University College à Londres l'a expliqué en 2014 dans un article de la Royal Society, avec l'exemple d'un test de détection d'une maladie. Une valeur-p de 5% signifie que, si quelqu'un n'est pas malade, alors le test trouvera qu'il a 5% de chance de l'être (faux positif). Mais cela ne dit pas qu'elle est la

probabilité d'être malade. En prenant un taux de prévalence de 90% par exemple pour cette maladie le chercheur calcule que le taux réel de faux positif atteint 36%! La valeur-p seule peut donc induire de fausses interprétations. Néanmoins, plus on fixe un seuil bas, plus ce taux de faux positif baissera. Idem si on augmente la taille de l'échantillon.

Mais alors que la génétique ou la physique ont fixé des seuils autrement plus drastiques pour p (dix à cent millionnièmes), des disciplines comme la recherche biomédicale, la psychologie, l'économie... restent accrochées à ce 0,05.

En mars 2016, une étude de John Ioannidis dans *JAMA* notait la présence de valeur-p dans un tiers des résumés d'articles parus en 2014 dans 151 revues médicales les plus importantes et dans près de 40% des essais cliniques. Petite bizarrerie, déjà constatée par d'autres : les valeurs-p rapportées ont une forte tendance à se concentrer autour de 0,05, le fameux seuil.

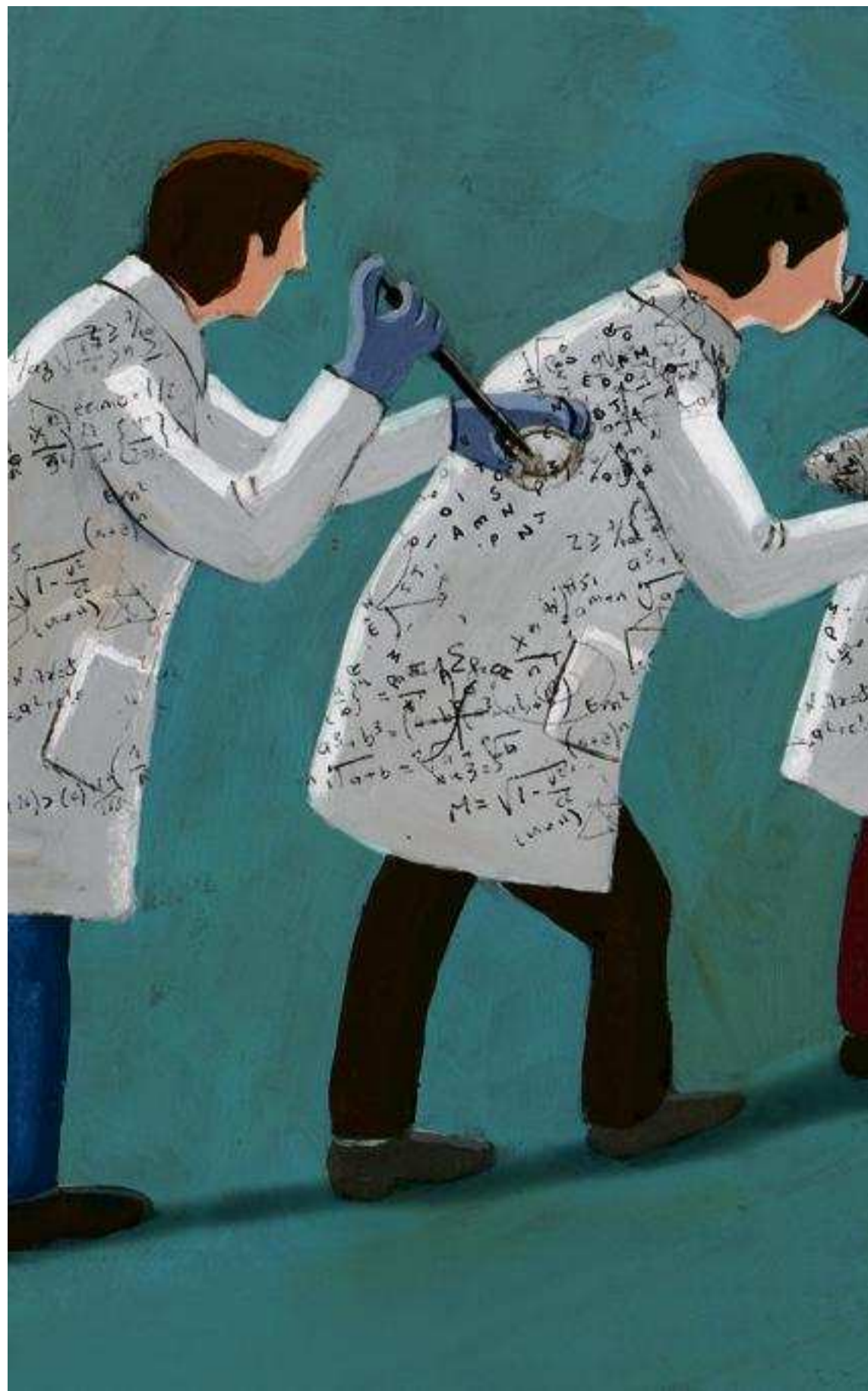
Fausses découvertes

C'est sans doute que les chercheurs sont passés maître dans l'art du « p-hacking », c'est-à-dire l'art de trouver la bonne méthode afin de tomber sous le seuil fatidique. « Certains surexploitent les données et essaient jusqu'à ce que ça marche », explique Bertrand Thirion, spécialiste en neurosciences à l'Inria. « Ce n'est pas de la triche délibérée mais, comme les chercheurs ont fourni beaucoup d'efforts pour faire les expériences, ils veulent trouver quelque chose et font "vibrer" les méthodes. »

Chris Chambers, dans son livre *The Seven Deadly Sins of Psychology* « Les sept péchés mortels de la psychologie » (Princeton University Press, non traduit), détaille avec regret ces mauvaises pratiques. « Les effets du p-hacking sont clairs, remplissant la littérature scientifique avec des hypothèses faites après l'expérience, des fausses découvertes, et des impasses de recherche », écrit-il.

Pour améliorer la fiabilité, les auteurs de l'appel de *Nature Human Behaviour* recommandent dans un premier temps de baisser le seuil à 0,005 et évoquent aussi l'existence d'autres critères ou méthodes statistiques. Ce problème de la valeur-p est fortement lié à une plaie de la recherche, « la crise de la reproductibilité ». ■

DAVID LAROUSSERIE



REPRODUCTIBILITÉ EN CRISE

Il y a péril en la demeure. Le « système immunitaire de la science » connaît des ratés, comme le constate le psychologue Chris Chambers dans son livre, *The Seven Deadly Sins of Psychology* (« Les sept péchés mortels de la psychologie », Princeton University Press, non traduit). Le nom savant de cette défense est « reproductibilité », c'est-à-dire la possibilité de refaire et confirmer une expérience. « La reproductibilité et la réplication sont les pierres angulaires de la science. Sans elles, nous n'avons aucun moyen de savoir quelles découvertes sont vraies et lesquelles sont causées par le jeu du hasard, de l'erreur ou de la fraude », précise Chris Chambers, de l'université de Cardiff. « On ne vole pas dans un avion qui n'a pas été rigoureusement testé, encore et encore. Il en va de même pour toutes les branches de la science. »

En 2014, devant l'impossibilité de plusieurs laboratoires à répéter un protocole prétendant obtenir des cellules souches pluripotentes, l'équipe japonaise qui avait clamé la découverte dans *Nature* est contrainte d'avouer qu'elle a fraudé. La biologiste fautive, Haruko Obokata, a démissionné, et l'un de ses coauteurs,

Yoshiki Sasai, pourtant innocent, se suicidera.

Idem pour une technique d'édition du génome, qui promettait de faire mieux que la très en vogue technique Crispr-Cas9. L'article, publié par *Nature Biotechnology* en 2016, a été retiré en août, après l'échec de plusieurs équipes à reproduire le résultat.

Pourtant, en 2005, John Ioannidis, de l'université Stanford, ébranlait la communauté par un article dans *PloS Medicine* suggérant que « la plupart des résultats scientifiques sont faux », car impossibles à reproduire. De nombreuses expériences de réplication ont depuis été conduites, montrant l'ampleur de la défaillance du système. En 2012, une équipe de la société de biotechnologie Amgen expliquait n'avoir retrouvé les résultats publiés que dans six cas sur 53 en oncologie.

En 2015, la première initiative du Centre pour la science ouverte aux États-Unis tente de reproduire 100 expériences de psychologie et n'y parvient que dans 39 cas. Deux ans plus tard, un programme identique de réplication en cancérologie publie ses premiers résultats. Sur sept études, quatre ont été reproduites, une



serprix.com

autre n'a pu l'être et deux restent impossibles à interpréter. Reste encore 29 études à vérifier dans ce projet. Souvent, c'est la mauvaise interprétation de tests statistiques qui les rend fragiles à répliquer.

Preuve supplémentaire du malaise, en mai 2016, *Nature* publiait un sondage dévastateur : 70 % des 1576 répondants déclarent avoir échoué à reproduire un résultat et même 50 % à refaire leur propre expérience...

L'heure est si grave qu'en janvier 2017, dix auteurs signent un « Manifeste pour la science reproductible », dans *Nature Human Behaviour*, appelant à plus de rigueur dans les méthodes, les comptes rendus et l'évaluation de la recherche.

La « crise », comme elle a été baptisée, ne touche pas seulement la psychologie ou l'oncologie. En imagerie cérébrale par IRM fonctionnelle, plusieurs études ont montré que des activations de pixels jugées significatives sont en réalité des faux positifs. L'une de ces études montre qu'en fonction des méthodes utilisées, les images produites peuvent être fort différentes. « Dans mon équipe, nous testons nos méthodes sur plusieurs jeux de données afin d'éviter ces pièges », explique Bertrand Thirion, de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique.

En chimie, Raphaël Lévy de l'université de Liverpool cite, dans la revue *Médecine/Sciences* du 18 septembre, le cas de trois équipes dont les résultats publiés ne sont toujours pas corrigés malgré ses contestations et

« LE SYSTÈME
N'ENCOURAGE
NI À LA CRITIQUE
NI À LA
RÉPLICATION
DES RÉSULTATS »

RAPHAËL LÉVY
UNIVERSITÉ
DE LIVERPOOL

celles d'autres chercheurs auprès de la revue. « Le système n'encourage ni à la critique ni à la réplification des résultats. Il faut être un peu fou pour s'engager dans ces processus, même si ça ne nuit pas à ma carrière », témoigne le chercheur. Les revues scientifiques ne sont en effet pas toujours promptes à corriger les erreurs publiées, qui entament leur réputation.

« Le public a le droit de fonder sa confiance en la science sur la réalité et non sur la fiction. La science est sans aucun doute le meilleur moyen de découvrir la vérité sur le monde et de prendre des décisions rationnelles. Mais cela ne veut pas dire qu'elle ne peut pas ou ne devrait pas être améliorée. Nous devons trouver des solutions pratiques face à ses défauts », estime Chris Chambers.

La liste qu'il propose dans son livre ou qui est reprise par le manifeste qu'il a cosigné fourmille d'idées. Comme relever les exigences en matière de rigueur statistique. Ou favoriser la transparence dans les procédures, en donnant accès aux données brutes, images, chiffres, méthodes utili-

sées... « Il y a encore des freins face à cette ouverture. Pour certains, les données c'est le pouvoir. Pour d'autres, c'est la peur qu'on trouve des défauts dans leur travail, regrette Bertrand Thirion. Mais justement, c'est bien de trouver des erreurs, pour pouvoir les corriger ! » Chris Chambers et d'autres ont d'ailleurs lancé en 2016 une charte pour les relecteurs d'articles qui s'engagent à n'évaluer des manuscrits que si les auteurs transmettent leurs données.

Une autre solution consiste dans les préenregistrements d'expérience, comme pratiqué depuis plusieurs années pour les essais cliniques. Les chercheurs doivent détailler leur protocole et les méthodes qu'ils utiliseront pour leur expérience, afin d'éviter la tentation d'adapter la méthode ou les tests aux observations. Des sites comme l'Open Science Framework, lancé par le Centre pour la science ouverte, permettent désormais de remplir facilement ce genre de recommandations. Autre idée, défendue par provocation par John Ioannidis en 2014 : sortir des « incitations » à publier à outrance afin de promouvoir les études de réplification, le partage des données...

« Nous avons la lourde responsabilité publique de veiller à ce que la prochaine génération de scientifiques ne souffre pas des problèmes de ma génération. Ce n'est que lorsque la science est aussi ouverte et solide que possible qu'elle peut apporter le maximum d'avantages à l'humanité », conclut Chris Chambers. ■

D. L.

« Les grandes revues distordent la science »

Les fondateurs du site PubPeer plaident pour une évaluation des articles par la communauté scientifique à travers leur libre diffusion en ligne

Brandon Stell et Boris Barbour sont tous deux neuroscientifiques au CNRS, respectivement à l'université Paris-Descartes et à l'École normale supérieure à Paris. Ils sont responsables de PubPeer, lancé en 2012 par Brandon Stell, afin de permettre à la communauté scientifique de commenter anonymement des articles déjà publiés. Le site, vu 300 000 fois par mois, comporte désormais 18 170 articles publiés dans 3 231 journaux, enrichis de plus de 56 000 commentaires.

Que reprochez-vous au système actuel de publication de travaux de recherche ?

Boris Barbour : Les chercheurs sont obsédés par la publication dans des soi-disant grands journaux, parce que le succès d'une carrière ou de la recherche de fonds dépend de ces publications, quasi indépendamment de leur contenu. En fait, les grands journaux distordent la science, car les critères pour être accepté dans ces journaux favorisent la nouveauté extrême, les aspects révolutionnaires... Mais les révolutions sont rares, donc cela conduit des chercheurs à favoriser des projets irréalistes, à exagérer leurs interprétations, et finalement cela trompe le lecteur.

Brandon Stell : Dans une très grande école, il y a peu, lors d'une réunion des directeurs de recherche, la direction a clairement indiqué que son objectif était d'augmenter son classement en augmentant le nombre d'articles publiés dans les grands journaux. Pourquoi les éditeurs de ces « grands » journaux devraient décider de l'avenir de la recherche planétaire ?

Trouvez-vous que les travaux publiés sont de mauvaise qualité ?

B. B. : Tous les chercheurs peuvent citer des articles dont ils estiment inadmissible la publication, mais c'est bien sûr une petite minorité. Ensuite, il y a toute une gamme de pratiques courantes qui entament la fiabilité de la recherche publiée. Par exemple, dans certains domaines, les méthodes statistiques utilisées pour comparer des hypothèses sont mal comprises. C'est le cas de l'omniprésent test statistique de significativité avec la valeur seuil « p ».

Il y a aussi la tentation de multiplier les tests et de croiser les variables jusqu'à ce qu'on atteigne un seuil de significativité suffisant. Quand il y a beaucoup de variables, on peut aussi formuler des hypothèses a posteriori et montrer qu'elles sont « vraies »... Il y a aussi beaucoup de travaux avec des échantillons trop réduits et qui ne permettent pas d'affirmer avec force qu'il y a ou non un effet.

Mais la science ne se corrige-t-elle pas d'elle-même en permettant le retrait d'articles ou en publiant des rectificatifs ou des correspondances entre auteurs... ?

B. B. : Les journaux ne sont pas du tout enclins à publier des corrections ou des échanges critiques. Beaucoup n'ont aucun système de correspondance permettant la publication de ces critiques. Tous veulent préserver leur réputation et évitent donc de faire état des problèmes. La pression pour publier dans les journaux à fort impact, la compétition entre chercheurs pour les postes ou les fonds et les niveaux multiples de conflits d'intérêts créent un environnement extrêmement hostile à toute forme de correction de la science.

B. S. : C'est la frustration qu'il n'y ait pas un forum public pour discuter des problèmes sur des articles publiés qui

m'a donné l'idée de PubPeer. On reçoit souvent des courriers de gens au bout du rouleau après leurs échecs à vouloir corriger la science.

Selon vous, les journaux scientifiques portent une forte responsabilité dans cette situation. Mais ils sont incontournables, non ?

B. S. : On devrait se moquer de savoir où un travail est publié. On peut se passer d'eux ! Il n'y a plus de raisons économiques pour les justifier, puisque aujourd'hui la diffusion numérique n'est pas chère. On peut aussi se passer d'eux pour les services qu'ils proposent comme la recommandation, car beaucoup de sites en ligne ont montré que des algorithmes « sociaux » peuvent grandement faciliter ces processus. Même la revue par les pairs (*peer review*, en anglais) est devenue un filtre de qualité peu fiable.

Comment voulez-vous vous passer du « peer review » ?

B. S. : Croire qu'en deux semaines on peut juger de la qualité et de l'importance d'un travail est souvent illusoire. En plus, ça fait reposer la décision sur quelques personnes [*les referees*] seulement. Des *referees* n'osent pas non plus avouer qu'ils n'ont pas compris l'article. Il existe aussi de nombreux biais, de mauvaises habitudes, comme les analyses statistiques déjà mentionnées...

Il faut inverser le processus – publier d'abord et discuter après. Et il existe déjà un système où les chercheurs déposent leurs articles en ligne dans des « archives », ArXiv en physique, bioRxiv en biologie... Ces *preprints* [*prépublications*] peuvent ensuite être commentés sur des sites comme PubPeer. Tous ces commentaires et avis d'experts alimenteraient une base de données permettant de se faire une opinion sur un article et d'en découvrir de nouveaux, grâce à des algorithmes de recommandations, des alertes automatiques... La multiplication rapide et interactive des commentaires clarifiera les idées mieux que le système de publication aujourd'hui.

Les expériences de commentaires d'articles n'ont pas eu beaucoup de succès jusqu'à présent. Comment comptez-vous les développer ?

B. S. : Il faut inciter les chercheurs à faire des commentaires. Après tout, ils font déjà un travail gratuit pour la revue des articles que les journaux leur envoient. Nous devons inventer un tel système d'incitation, ce que nous espérons proposer dans quelques mois.

Votre modèle « sans journal » est-il populaire dans la communauté ?

B. B. : Assez naturellement, ceux qui ont profité du système existant ne voient souvent pas pourquoi en changer. Les autres, notamment les jeunes, y sont plus favorables. Les choses bougent. Les biologistes déposent de plus en plus de *preprints*. Ils se mettent aussi à partager leurs données afin de permettre la réplification de leurs résultats. Sur PubPeer, souvent les commentaires consistaient à montrer que des images avaient été copiées, dupliquées, manipulées... Certes, c'est nécessaire, mais maintenant on voit de plus en plus de discussions sur les méthodes, les interprétations, les protocoles. Cela devient plus riche. Tout cela nous mène vers un système où on se focalise à nouveau sur la substance des travaux, où la publication n'est que le début de l'évaluation, et où les chercheurs reprennent le pouvoir sur leur métier. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR D. L.

LE LIVRE

Quand les enfants
écrivait
à Einstein

Cette correspondance livre un portrait presque intime du savant devenu iconique

Cher Monsieur, je vous serais très reconnaissant de me dire ce qu'est le temps, ce qu'est l'âme et ce qu'est le firmament. Merci, Peter.» Il ne doute de rien, Peter, de Chelsea dans le Massachusetts, lorsqu'il envoie sa lettre le 13 mars 1947. Il ne doute de rien, probablement parce qu'il sait qu'il écrit à une des très rares personnes capables à la fois de lui répondre et de se mettre à son niveau d'enfant : Albert Einstein (1879-1955).

Auteur de nombreux ouvrages sur le père de la relativité, Alice Calaprice a, dans *Cher professeur Einstein*, rassemblé plusieurs dizaines de lettres, rédigées par de jeunes correspondants du monde entier, que reçut le plus emblématique des savants du XX^e siècle. Sans doute ces jeunes gens avaient-ils senti la bienveillance qu'Einstein manifestait à leur égard, qui se traduit, dans les quelques réponses publiées, par un ton empreint de tendresse, d'humour et, parfois aussi, de reproches paternels. Ainsi, quand Arthur, un tantinet présomptueux, joue au grand et veut débattre de la théorie de la relativité à laquelle il a consacré un article, le Prix Nobel de physique 1921 répond-il à sa question patiemment et termine par un conseil qui vaudrait pour bien des adultes : « Quant à toi, il vaudrait mieux que tu attendes d'avoir appris quelque chose d'utile avant d'enseigner aux autres. »

« Les scientifiques prient-ils ? », « Comment marche la quatrième dimension ? », « Qu'est-ce qui maintient les soleils et les planètes en place ? », « Comment l'espace pourra-t-il durer indéfiniment ? », « Est-ce qu'il y aurait des êtres vivants si le Soleil s'éteignait ? » Les enfants ont des interrogations profondes et ne craignent pas de les adresser au scientifique le plus fameux de leur époque.

Il y a bien sûr aussi des demandes d'autographes, des lettres futiles quoique attendrissantes – « Je trouve, écrit Ann, qui a 6 ans, que vous devriez vous faire couper les cheveux, vous seriez plus beau » –, ou, tout simplement, des remarques sur la vie quotidienne de ces bambins. Barbara fait état de son niveau médiocre en maths et Einstein lui répond, avec l'humour pince-sans-rire qui le caractérisait : « Ne te tracasse pas pour tes difficultés en mathématiques ; je peux t'assurer que les miennes sont encore plus grandes. »

Se dessine le portrait en creux d'un savant qui, à l'inverse de ce que pensait le reste de la planète, ne se prenait pas pour un génie et dont on imagine mieux, grâce à ce recueil, la fantaisie renommée et le statut d'icône. John, de Culver (Indiana), écrit : « Mon père et moi, on va construire une fusée pour aller sur Mars ou Vénus. On espère que vous viendrez aussi. On veut que vous veniez parce qu'on a besoin d'un bon scientifique et de quelqu'un qui sait guider une fusée bien. Ça vous embête si Mary vient aussi ? Elle a 2 ans. Elle est très gentille. Tout le monde doit payer sa nourriture parce qu'on fera faillite si on paye tout ! » ■

PIERRE BARTHÉLÉMY

Cher professeur Einstein, textes réunis et présentés par Alice Calaprice (Payot, 140 p., 15 €).

L'AGENDA

ÉVÈNEMENT

Fête de la science

La science sera à l'honneur dans toute la France du 7 au 15 octobre. Le coup d'envoi de cette 26^e édition sera donné à la Cité des sciences et de l'industrie, le vendredi 6 octobre, par Estelle Mossely, championne olympique de boxe et ingénieure, sous l'égide du ministère de la recherche. Observer, questionner, expérimenter... Petits et grands sont invités à comprendre l'impact de la science dans le quotidien. Et ce dans les domaines de la biodiversité, du climat, des nouvelles thérapies, des sciences de l'Univers, de l'intelligence artificielle, etc. Les associations comme L'Arbre des connaissances ont aussi mobilisées pour ce rendez-vous qui devrait rassembler 1 million de personnes.

> www.fetedelascience.fr

PLUIE DE MÉTÉORITES
SUR MERCURE

Mercury, la plus petite planète du système, présente une curieuse météo : chaque matin, elle est arrosée par une pluie de micrométéorites. Une nouvelle analyse des données recueillies par la sonde américaine Messenger entre 2011 et 2015 a révélé ce phénomène inattendu. Ses capteurs avaient montré que la concentration en magnésium et en calcium dans l'exosphère – la fine atmosphère de la planète – était plus élevée à l'aube. La plus grande abondance de ces particules en début de journée, qui trahit l'impact des micrométéorites, serait due à la course particulière de Mercure : ses jours sont très longs (elle tourne sur elle-même en 58 jours terrestres) comparés à son année (elle fait le tour du Soleil en 88 jours terrestres). En outre, les micrométéorites circulent dans le sens opposé au mouvement des planètes, si bien qu'elles frappent préférentiellement la face de Mercure exposée aux premiers rayons du Soleil, selon une simulation effectuée par la NASA. (PHOTO : ASA/JOHNS HOPKINS UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY/ CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON)



DIX MILLE PAS ET PLUS

LES NEURONES SE MUSCLENT AUSSI

Par SANDRINE CABUT

Ah, cette sensation délicieuse de bien-être et de détente totale après un jogging matinal, une séance de marche rapide ou de natation. Les bénéfices immédiats sur le cerveau de l'exercice physique, dus à la libération de neurotransmetteurs (endorphines, dopamine...), sont bien connus des pratiquants, même occasionnels. Mais c'est sans doute à long terme que les effets cérébraux du sport se révèlent les plus puissants. Le sujet est devenu un champ de recherche à part entière, et des dizaines d'articles scientifiques sont publiés chaque année.

Grâce à de multiples études menées chez des rongeurs et chez l'homme, il a été démontré que l'exercice physique stimule la mémoire et retarde le déclin cognitif. Bouger régulièrement permet aussi d'augmenter le niveau d'attention et d'autres capacités intellectuelles, comme la planification, le contrôle, voire la créativité. Sans compter l'impact positif sur l'humeur et l'anxiété qui font de la marche, du jogging ou du vélo des outils thérapeutiques à ne pas négliger dans la dépression et dans bien d'autres maladies mentales.

Les premiers indices des effets de l'exercice physique sur les neurones ont émergé dans les années 1960, avec les travaux d'un trio de chercheurs amé-

ricains. À l'université de Berkeley, en Californie, Marian Diamond, David Krech et Mark Rosenzweig étudiaient comment les conditions de vie peuvent modifier le cerveau de rats. Pour cela, certains sont placés dans un milieu dit enrichi : ils restent en groupe dans une grande cage, avec accès à des jouets et activités variés (roues, échelles, tunnels...). Chaque jour, ils sont autorisés à explorer un labyrinthe pendant trente minutes. Les autres sont mis dans des cages individuelles, où ils n'ont aucun contact avec leurs congénères. Après quatre-vingts jours de ce régime, les animaux ont été sacrifiés et leur cerveau disséqué.

Les chercheurs ont alors constaté que le milieu enrichi avait fait l'effet d'un engrais neuronal. « Les rats développent un cortex plus épais, leurs neurones se ramifient, s'entourent de vaisseaux sanguins cérébraux plus nombreux et produisent des concentrations plus élevées de neurotransmetteurs comme l'acétylcholine ou de facteurs de croissance comme le BDNF », résume la neuroscientifique Wendy Suzuki, de l'université de New York, dans *Cerveau & Psycho* (juillet-août 2016).

Depuis, grâce au concours de multiples rongeurs soumis à toutes sortes d'entraînements sportifs, d'autres équipes ont affiné ces résultats, montrant que si les interactions sociales sont stimulantes, les

mouvements jouent un rôle important dans la plasticité cérébrale.

En 1999, Fred Gage et ses collègues de l'université de Californie ont franchi une nouvelle étape décisive. Leurs travaux, publiés dans *PNAS*, ont en effet révélé que, chez les souris, la course multiplie par deux la création de nouveaux neurones dans l'hippocampe, une région-clé de la mémoire. Cette stimulation de la neurogenèse s'accompagnait d'une amélioration des apprentissages.

Chez l'homme, plusieurs études ont confirmé qu'il en va de même : l'exercice physique favorise la fabrication de nouveaux neurones dans l'hippocampe. Jusqu'à quel point cette neurogenèse améliore-t-elle les facultés de mémorisation et quelles sont les meilleures activités ? La réponse n'est pas si simple. Selon une méta-analyse publiée en 2013 par le Canadien Marc Roig, la mémoire à long terme serait davantage dopée par un exercice bref et intense que par l'entraînement au long cours. Mais ce dernier permet d'optimiser la machinerie cérébrale indispensable pour la mémorisation. Bref, l'idéal est peut-être de combiner les deux types d'activités. Le risque de déclin cognitif et de maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer est en tout cas diminué chez les personnes physiquement actives. À l'heure du déjeuner, n'oubliez pas d'aller marcher. ■

AFFAIRE DE LOGIQUE – N° 1024

Cibles mouvantes

Sur un quadrillage de 5 carrés sur 5, une cible rouge est placée au hasard sur un des 25 carrés, dont le fond est du même rouge. Dans un premier temps, la cible est donc invisible.

Après chaque tir, la cible se déplace vers une case adjacente du quadrillage, de manière aléatoire.

Le tireur est un expert, qui ne manque jamais la case visée, et cherche à atteindre la cible en un minimum de tirs.

Quand il tire sur une case, cette dernière devient blanche. Si la cible revient dessus, il la verra et ne la manquera pas.

1A. Au bout de combien de tirs, au maximum, est-il sûr d'atteindre la cible ?

Sur un quadrillage de 9 carrés sur 1, une autre cible est placée. Après chaque tir, elle se déplace encore vers une case adjacente de manière aléatoire. Cette fois, la case ne change pas de couleur et la cible reste invisible, sauf si elle est atteinte.

2A. Au bout de combien de tirs, au maximum, le tireur est-il sûr d'atteindre la cible ?

Répondre 0 s'il ne peut pas en être sûr.



Participez au concours « Dans le 1000 » chaque semaine du mercredi au lundi suivant, du problème 1001 au 1025, sur le site www.affairedelogique.com. Commencez quand vous voulez. La première fois, inscrivez-vous. Il suffira ensuite de vous identifier. Vous pouvez modifier votre réponse jusqu'à dernier moment. Les scores se cumulent.

LE PROFESSEUR MORIARTY
À PARIS LE 12 OCTOBRE.

Le professeur Moriarty, ennemi juré de Sherlock Holmes, est très doué en mathématiques. C'est de l'un de ses ouvrages et de ses liens avec les mathématiques qu'il sera question le 12 octobre à 18 h 30 dans une soirée-conférence à l'Institut Henri Poincaré (Paris 5^e). Au programme :
- 18 h 30 : « La dynamique d'un astéroïde », par Alexandre Le Tiec.
- 19 h 30 : « Paris 1900, les 23 problèmes d'Hil-

bert » par Shalom Eliahou.
Informations sur www.ihp.fr/fr/actualite

FESTIVAL « MATHS EN VILLE » DU 19 AU 21 OCTOBRE À SAINT DENIS (93)
Dans le cadre de la Fête de la science, la compagnie Terraquée met en place la première édition de ce festival : animations artistiques avec le spectacle « Pilouface » de l'île Logique, ateliers ludiques et conférences, expositions autour des mathématiques. Informations sur www.cieterraquee.com

MATHÉMATIQUES ET NEUROSCIENCES
SPECTACLE À LYON LE 9 OCTOBRE

Lors du spectacle musical « Petites notes de mathématiques », la N^o Compagnie de Claire Truche explorera au Théâtre Astrée (Université Lyon I, à 19 h 19) ce qui se passe lorsque nous pensons mathématiques, chiffres, algorithmes. La représentation sera suivie d'une rencontre avec le mathématicien Etienne Ghys. Informations sur mmi-lyon.fr

Solution du problème 1022

• 1A. 200.

• 2A. 250.

Dans chaque cas, le dessin parle de lui-même.

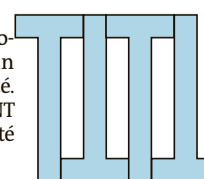
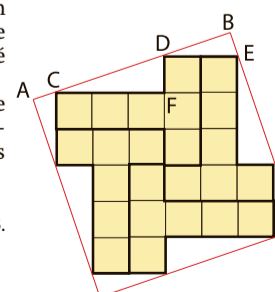
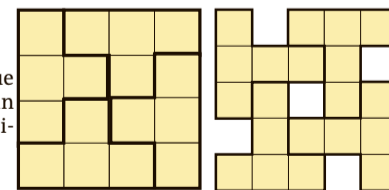
• 3A. 285.

Sur le dessin ci-contre, on voit que l'enveloppe rouge est bien un carré, de côté $AB = AC + CD + DB$. $CD = 50 \times \sqrt{10}$ (théorème de Pythagore dans le triangle CDF). Les triangles CDF et DEB étant semblables, $CD/DE = DF/EB = CF/DB$. De là, $BD = 30\sqrt{10}$. De même, $AC = BE = 10 \times \sqrt{10}$.

D'où $AB = 90 \times \sqrt{10} \approx 284,60$.

• 4A. 550.

À partir de $N = 8$, la meilleure disposition est celle du dessin, pour un grand carré de $(N+1) \times 50$ cm de côté. On ne peut ajouter un cinquième NT que si N est au moins égal à 10. Le côté est alors 550 mm.



CARTE
BLANCHELa popularité
des politiques
et le gloriomètre

Par BAPTISTE COULMONT

Chaque semaine ou presque, les principaux instituts de sondage rendent publiques les cotes de popularité de dizaines d'hommes et femmes politiques. Des « baromètres » que le sociologue Philippe Juhem, de l'IEP de Strasbourg, a étudiés dans un article réjouissant (pour les sociologues) et désenchanté (pour le personnel politique), « Les "favoris des sondages" » (*Sociétés contemporaines*, n° 106, 2017).

Ces cotes distinguent les seconds couteaux des premiers de la classe (politique). Et elles entrent en résonance avec notre mode de scrutin, uninominal, qui fait porter le choix avant tout sur un nom. C'est donc un élément central d'individualisation du jeu politique, écrit le sociologue, car la cote est souvent décrite comme le reflet direct de la capacité des acteurs à concentrer sur eux la confiance, les préférences ou l'adhésion des électeurs.

Ces palmarès sont étranges. Ils évoluent peu d'un mois sur l'autre : le plus souvent, la cote d'untel est stable et bouge d'un ou deux points, en plus ou en moins, tant que son nom reste proposé aux sondés. Des variations qui ont tout du simple mouvement aléatoire.

Mais certaines personnes connaissent une brusque augmentation de leur popularité, après avoir languie plusieurs années en bas du classement. Ainsi la « cote d'avenir » de François Fillon flote autour de 20% entre 2004 et 2007. Elle passe à 60% en mai 2007. Effet de son charisme personnel enfin révélé à tous ? Pas vraiment : les qualités individuelles ne sont pas à l'origine de la popularité. Pour M. Fillon comme pour les autres, la popularité est un attribut de la position, pas de la personne. Une nomination à un poste de ministre fait exploser la popularité barométrique. Le gloriomètre reflète le poids des institutions légitimes.

Excès de « liquidité » sondagière

« La trajectoire de popularité alors peut se déduire de la succession des positions occupées » : un élu ne transfère pas sa popularité en changeant de poste, et les défaites électorales affectent sa cote. Voilà qui explique que d'« anciens favoris des sondages aujourd'hui "rentrés dans le rang" paraissent désormais dépourvus des qualités et du charisme qui leur avaient été initialement attribués (...) sans que rétrospectivement nous puissions précisément nous souvenir de ce en quoi résidaient exactement les racines spécifiques de leur supériorité personnelle ».

Mais le sondage n'est pas le vote. Le vote réel ne peut porter que sur un seul candidat au contraire des baromètres, qui permettent aux sondés d'arroser de popularité un grand nombre de personnalités. Dans les urnes, choisir untel, c'est éliminer tous les autres. Les sondés peuvent au contraire souhaiter à plusieurs « jouer un rôle important au cours des mois et des années à venir ». La pluralité de réponses « engendre entre neuf et vingt fois plus de popularité qu'il n'existe d'électeurs ». Car rien n'empêche de déclarer faire confiance à tout le monde.

Et cette surproduction gratuite de popularité qui n'engage à rien, cette multiplication des pains, ne se répartit pas équitablement : Yves Jégo ou Claude Bartolone, quelles que soient leurs qualités, n'en ont jamais vraiment bénéficié. Elle tombe d'abord sur les principaux dirigeants politiques, ceux qui sont privilégiés par les sondés les plus politisés, qui jouent pour leur camp. Elle tombe aussi sur des personnalités peu clivantes, car les sondés travaillent à diversifier leurs réponses. Aux positions bien identifiées du jeu politique (chef des frondeurs, femme de gauche la plus à droite, ministre important...) correspond un « niveau de popularité probable » généré par ce mécanisme de surproduction spéculative. *Sic transit gloria mundi.* ■

Baptiste Coulmont

Sociologue et maître de conférences à l'université Paris-VIII et chercheur à l'Institut national d'études démographiques (INED) (<http://coulmont.com>)

L'innovation scientifique
doit s'accompagner d'innovation éthique

TRIBUNE - Toutes les implications de l'essai qui a redonné une « conscience minimale » à un homme en état végétatif doivent être explorées, de façon transparente, estime l'éthicien Emmanuel Hirsch

Le 25 septembre, les résultats d'un essai clinique mené sur un patient en « état d'éveil non répondant » par une équipe de chercheurs en neurosciences (CNRS, université Lyon-I) et de cliniciens des Hospices civils de Lyon étaient rendus publics. La stimulation, entre janvier et octobre 2016, du nerf vague de cet homme âgé de 35 ans a permis de constater, quinze ans après l'accident qui avait provoqué des lésions cérébrales, une réversibilité vers un « état de conscience minimale ». Qu'en sera-t-il de l'évolution de son état de conscience et donc des bénéfices directs tirés de l'étude, pouvait-on se demander ? Le 27 septembre, l'annonce du décès de ce patient, intervenu durant l'été, était révélée de manière fortuite. Il conviendra donc d'attendre les résultats des prochaines expérimentations pour disposer d'éléments indicatifs de la pertinence du protocole.

Nos représentations des personnes dites en « état végétatif constant » ou « pauci-relationnel » et l'approche médicale de leur pronostic pourraient être bouleversées si les observations publiées se confirmaient. Dès lors, était-il sage de communiquer ainsi, de manière forcement partielle, puisque l'on ne peut rien dire de l'évolution possible du patient ? Dans un contexte sensible qui concerne l'existence d'une personne en situation de vulnérabilité extrême – abordé dans l'avis n° 7 (1986) du Comité consultatif national d'éthique sur les expérimentations sur les malades en état végétatif

chronique –, quels sont les critères incontestables qui ont prévalu pour engager une telle étude ? Ces questions peuvent être posées. Si la transparence s'impose, elle ne se limite pas à valoriser des données scientifiques intermédiaires dont on sait les espoirs qu'elles suscitent. L'acceptabilité de recherches menées sur des patients dans l'incapacité de consentir est conditionnée par l'attention portée aux modalités de sélection et de suivi, ainsi qu'à la restitution de résultats au-delà des effets d'annonce.

L'innovation scientifique doit être accompagnée d'une innovation éthique à proportion des enjeux. Les équipes lyonnaises ont certainement approfondi des réflexions liées au caractère inédit de la recherche ainsi qu'à ses conséquences. Il serait précieux qu'elles en partagent les conclusions.

La notion « d'état de conscience minimale » s'avère encore imprécise. Qu'éprouve au juste une personne qui émerge ainsi de quinze ans d'inconscience ? Qu'en est-il de sa perception et de sa faculté de discernement ? Il n'est pas négligeable d'évoquer une souffrance possible, celle que provoquerait la violence de se percevoir dans une condition existentielle de dépendance radicale, accentuée par l'entrave à communiquer.

La décision de cette étude a-t-elle été conditionnée par une anticipation des phases de progression qu'elle permettrait d'envisager de manière probante, au-delà du premier seuil atteint ? Car si le patient ne bénéficiait pas de la capa-

QU'ÉPROUVE AU JUSTE UNE PERSONNE QUI ÉMERGE DE QUINZE ANS D'INCONSCIENCE ? QU'EN EST-IL DE SA FACULTÉ DE DISCERNEMENT ?

cité d'évoluer d'un stade de « conscience minimale » vers une forme d'autonomie acceptable, quel serait le bénéfice direct pour lui de ce protocole ? Certains évoquent déjà à ce propos un préjudice disproportionné, assimilable à une forme de maltraitance.

Qu'en serait-il de la justification thérapeutique de la stimulation, si l'évolution vers un état de conscience effective s'avère partielle et donc sans effet significatif sur la vie relationnelle et les aptitudes de la personne ?

En état « d'éveil non répondant », le patient n'avait pas la capacité d'exprimer son consentement. Mais en « état de conscience minimale », son statut diffère. Doit-on et peut-on solliciter son assentiment à participer aux phases ultérieures de la recherche ou au contraire y renoncer ? En cas de refus, la famille ne risque-t-elle pas d'éprouver la culpabilité d'avoir consenti indûment à l'inclusion dans l'étude ?

Même si le décès du premier patient à Lyon est sans relation avec la stimulation, ce dénouement incite à s'interroger notamment sur l'intérêt réel qu'il pouvait tirer de cette étude.

Envisagera-t-on demain, si la stimulation du nerf vague permet l'expression ne serait-ce que d'un assentiment, de considérer son recours comme relevant d'un nouveau droit au regard de la législation relative à la fin de vie ? Sera-t-elle pratiquée de manière routinière en réanimation, et préconisée pour déterminer le devenir de l'ensemble des patients en « état végétatif » ou « pauci-relationnel » ?

Les avancées des neurosciences et les techniques de neurochirurgie bouleversent nos repères et nos certitudes. Elles nous ouvrent à des champs de possibles aux conséquences encore peu maîtrisées. Les données publiées et rendues publiques par les équipes lyonnaises portent une promesse qu'il ne faudrait pas décevoir. Au-delà de l'acquisition de connaissances d'une valeur scientifique que pourraient confirmer les prochaines inclusions de patients, il importe de porter une grande attention à leur acceptabilité éthique et sociale. Dès lors, tout en respectant les règles de confidentialité, de prudence et de décence, l'exigence d'intégrité dans la communication s'impose. ■

Emmanuel Hirsch, professeur d'éthique médicale, université Paris-Sud - Paris-Saclay

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

DES AÉROSTATS POUR ALLER DANS L'ŒIL DES CYCLONES

1 PRÉSENTATION DE L'AÉROCLIPPER
Jusqu'au 24 octobre, le CNES et le Laboratoire de météorologie dynamique testent sur l'île de Guam un procédé pour positionner des instruments météo dans l'œil des cyclones. « Arceo 2017 » doit montrer qu'il est possible de larguer, au bon moment, des aéroclippers de façon à ce qu'ils soient aspirés jusqu'au cœur de ces perturbations.

Communication par satellite (Iridium) -----
Géolocalisation par GPS -----

Ballon profilé de 39 m³ gonflé à l'hélium

Instruments météo permettant de mesurer : la température, l'humidité, les vitesses du vent relatif, la pression atmosphérique de surface

Guiderope

2 COMMENT L'AÉROCLIPPER MAINTIEN-T-IL SON ALTITUDE ?
Comme il se déplace à une vitesse légèrement inférieure à celle des vents environnants, ce type d'aérostat ne subit jamais de sollicitations mécaniques importantes. En cas de fortes rafales, il monte en tirant sur le guiderope qui lui sert de lest de masse variable. Si celui-ci est entièrement sorti de l'eau, le ballon redescend, le remettant partiellement à flot.

3 L'ÎLE DE GUAM, TREMLIN PROMETTEUR
Les analyses des données météo ont montré que l'île de Guam est l'un des meilleurs sites du monde pour étudier les cyclones dans le Pacifique.

Aéroclipper
Cyclone
Océan Pacifique
PHILIPPINES
GUAM
Modélisation de la trajectoire d'un aéroclipper lancé depuis l'île de Guam

SOURCE : LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE - CNES
INFOGRAPHIE : VICTORIA DENYS

D'ici à fin octobre sur l'île de Guam, un procédé de suivi in situ de l'activité des cyclones va être testé par le Centre national d'études spatiales et le Laboratoire de météorologie dynamique. Baptisée « Arceo 2017 », la campagne

consiste à larguer, depuis cette île du Pacifique nord, deux ou trois prototypes d'« aéroclippers », des ballons optimisés pour se maintenir à une altitude de quelques dizaines de mètres au-dessus du niveau de la mer, quelle que soit la

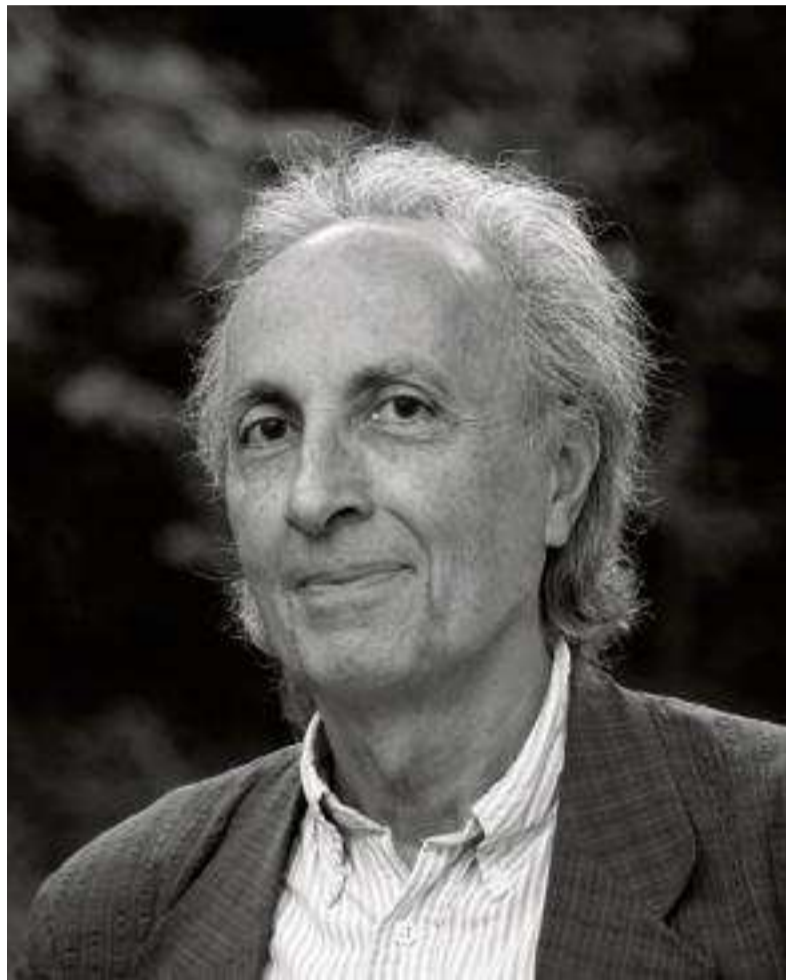
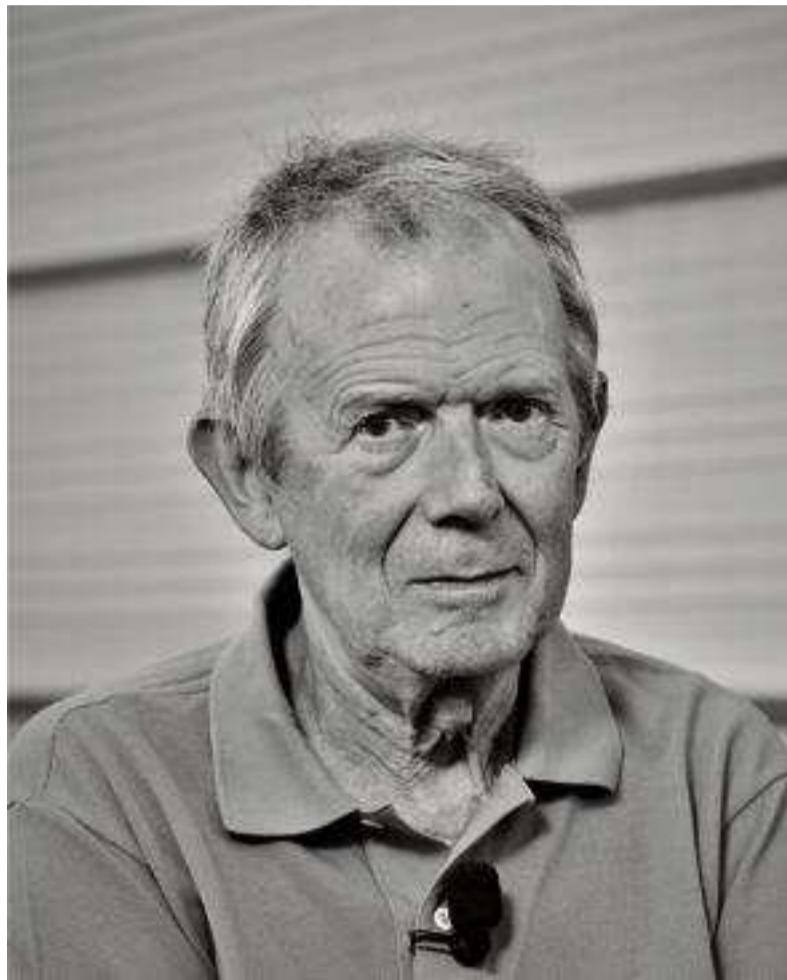
force du vent. Deux aérostats de ce type avaient par hasard été capturés dans l'œil d'un cyclone en 2007 et y étaient restés prisonniers plusieurs jours. L'objectif est de vérifier qu'il est possible de calculer leur trajectoire pour les piéger

volontairement dans ces perturbations. L'espoir est de réussir à recueillir des informations difficilement accessibles par satellite comme la pression atmosphérique de surface. ■

VAHÉ TER MINASSIAN

Alain Brillet et Thibault Damour, duo cosmique

PORTRAIT - La contribution majeure de ces deux physiciens à un projet un peu fou, la détection des ondes gravitationnelles, vient d'être récompensée par le CNRS, qui leur a attribué sa médaille d'or



J' ai été traité plusieurs fois de fou», se souvient Alain Brillet, 70 ans, directeur de recherche à la retraite du CNRS, à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Pourtant il vient de recevoir la médaille d'or de l'organisme, avec son confrère Thibault Damour, 66 ans, professeur à l'Institut des hautes études scientifiques. Une double récompense pour saluer leurs contributions majeures à un projet en effet un peu fou, la détection des ondes gravitationnelles.

Ces ondes ou oscillations, créées par exemple par la valse de trous noirs, font vibrer l'espace-temps et dilatent et contractent in fine les longueurs. «Infimement» signifie dans ce cas un millième du diamètre d'un proton... «Dans les années 1980, on savait expérimentalement mesurer un millième de micromètre et il fallait faire un milliard de fois mieux!», rappelle Alain Brillet. On peut donc comprendre le scepticisme de l'époque.

Thibault Damour n'était pas de ces sceptiques. En 1982, il appartenait même à un comité consultatif qui a donné un avis positif à Alain Brillet et ses collègues pour lancer l'étude d'une «antenne» à ondes gravitationnelles. Spécialiste de relativité générale, il était l'un des seuls Français à s'intéresser à ces phénomènes et avait donc des arguments. Même l'armée, durant son service militaire en tant que scientifique du contingent, avait fait appel à lui pour garder un œil sur les avancées autour de ces ondes qui auraient fait d'excellents systèmes de communication discrets.

Les théoriciens oubliés du Nobel

En outre, le physicien revenait tout auréolé de deux ans de post-doc passés à Princeton dans les pas de son idole scientifique, Albert Einstein. Quand il y arrive en 1974, un étrange objet a été découvert, un pulsar en orbite autour d'une étoile à neutrons. Les calculs de Thibault Damour et Nathalie Deruelle prédisent que l'émission d'ondes gravitationnelles accélère la rotation du pulsar, ce qui vaudra aux astronomes Hulse et Taylor, qui l'ont effectivement observé en 1974, le prix Nobel en 1993 – mais le jury oubliera les théoriciens...

De son côté, «Alain a dû prendre son bâton de pèlerin pour convaincre de construire un détecteur d'ondes gravitationnelles», rappelle Jean-Yves Vinet, également à l'Observatoire de la Côte d'Azur et qui travaille avec lui depuis le début. «Personne ne le croyait», insiste Catherine Nary Man, son épouse physicienne, engagée elle aussi dans cette aventure depuis les origines. Elle se rappelle que les études préliminaires étaient financées par vingt petits contrats. «Il discutait avec tout le monde, persuadé que c'était possible. C'était l'homme des idées», décrit-elle.

Alain Brillet (à gauche) et Thibault Damour.
VERGNE/IHES/
MAURIZIO
PERCIBALLI

Il était aussi l'homme de la situation, comme Thibault Damour, côté théorie. «Lors d'une conférence d'Alain, une sceptique qui n'avait pas entendu son nom, se lève et dit que de telles mesures sont absurdes et qu'il faudrait consulter le spécialiste du sujet... Alain Brillet!», rappelle Jean-Yves Vinet. En effet, Alain Brillet est spécialiste de métrologie par laser et, durant sa thèse, il a développé des techniques pour stabiliser la fréquence des lasers. Une expérience fondamentale mesurant l'isotropie de l'espace par des interférences lui ouvre les portes des États-Unis, où il rencontre Rainer Weiss au MIT. Ce dernier développe un interféromètre pour détecter les ondes gravitationnelles, qui deviendra, grâce au soutien de Kip Thorne et l'implication de Barry Barish, l'expérience LIGO et ses deux détecteurs longs de quatre kilomètres installés aux États-Unis. «C'est Rainer Weiss qui m'a mis le pied dans ce sujet», rappelle Alain Brillet. On a depuis continué à discuter ou échanger des étudiants.» L'actuel porte-parole de LIGO est d'ailleurs David Shoemaker, un ancien étudiant d'Alain Brillet.

Lancement du projet Virgo

Le projet du Français de construire un détecteur équivalent à celui des Américains prend plus de temps. Les Allemands déclinent l'invitation à y participer car ils sont engagés sur leur propre chantier. Au CNRS, l'institut qui s'occupe des sciences de l'Univers rechigne, préférant se concentrer sur le télescope géant du Chili, le VLT. C'est l'Institut de physique des particules qui relève le gant, en s'associant à l'Italie, dont l'équipe menée par Adalberto Gia-zotto, spécialisée dans le contrôle des vibrations, est complémentaire des Français. «L'un de mes meilleurs souvenirs, c'est lorsque Hubert Curien, ministre de la recherche, a annoncé en 1992 le lancement officiel de ce projet sans même nous prévenir, ni même les Italiens!», se souvient Alain Brillet.

Dix ans plus tard, l'instrument Virgo, installé près de Pise, débute ses expériences. Et le 14 août 2017, ses longs bras de lumière de trois kilomètres détectent leur première secousse gravitationnelle. Deux ans après LIGO. Mais, comme les deux équipes partagent données et analyses, tout le monde a été crédité du mérite de l'une des découvertes majeures de ce début de troisième millénaire. Cet œcuménisme sera-t-il de mise pour le Nobel de physique 2017?

Avant cette consécration hypothétique, les parcours des deux lauréats de la médaille d'or s'étaient croisés dans les années 2000. Thibault Damour, depuis ses premiers travaux sur le comportement de systèmes binaires, a développé des méthodes pour calculer comment deux trous noirs peuvent se tourner autour,

jusqu'à fusionner ensemble. Il parvient même, avec des collègues, à décrire le comportement du trou noir final. Et ce sont ces équations qui seront utilisées par les physiciens de LIGO et Virgo pour analyser leur signal et en déduire qu'il avait bien été causé par une onde gravitationnelle créée par la coalescence de deux trous noirs. «Une personne-clé dans cette aventure, c'est Thibault Damour», assure Alain Brillet. «Leur succès expérimental est magnifique. Ils ont travaillé d'arrache-pied car lorsque j'ai visité l'expérience Virgo en juillet, ils n'avaient pas encore la précision requise pour observer les ondes», salue de son côté Thibault Damour.

Les deux physiciens auraient pu se croiser bien plus tôt. Thibault Damour entre en effet à l'École normale de la rue d'Ulm à 19 ans en 1970, alors qu'à quelques rues de là, à l'ESPCI, Alain Brillet termine son diplôme. «Je voulais d'abord faire de la chimie, avant de réaliser que c'était trop "de la cuisine" et de me passionner pour la physique, notamment parce que nous faisons deux heures par jour d'expériences», se souvient Alain Brillet, qui a aussi eu un coup de foudre pour cette discipline grâce aux cours de Claude Cohen-Tannoudji (Nobel de physique 1997), «un pédagogue remarquable».

L'amour de la physique est bien plus précoce chez Thibault Damour, dont la mère, pourtant non scientifique, le nourrit de livres de haut niveau: Einstein, Landau-Lifschitz, Bourbaki... «J'ai écrit aussi ma biographie d'Einstein en 2005 comme une dette pour des livres de vulgarisation que j'avais lus adolescent», indique le physicien, qui a aussi publié une bande dessinée sur les origines de la mécanique quantique. A moins de 15 ans, il trouve une erreur dans un article d'Einstein! Il aura aussi le plaisir d'accéder à un manuscrit de son maître en dégustant le thé avec l'ancienne secrétaire du célèbre physicien, Helen Dukas, qui lui a ouvert les portes de la maison d'Einstein. Et comme son idole, il est toujours occupé à tenter de marier la gravitation et la physique quantique.

Atteint de sclérose en plaques, Alain Brillet est désormais moins actif en physique, même si avec sa femme, il s'intéresse au projet LISA d'interféromètre laser dans l'espace, doté de bras d'un million de kilomètres. «Je lis aussi beaucoup sur les neurosciences et l'intelligence artificielle, car ces disciplines sont importantes pour l'avenir», explique-t-il.

En 2016, les deux physiciens étaient à nouveau réunis pour recevoir les 3 millions de dollars du prix Breakthrough attribué aux physiciens de LIGO et Virgo, ainsi qu'à sept théoriciens, dont Thibault Damour. 1015 personnes avaient ainsi été récompensées. Un autre record pour les ondes gravitationnelles. ■

DAVID LAROUSSIERE



ZOOLOGIE

Un rat géant tombé de l'arbre

Ne vous fiez pas à la photo! Cet air de joli rongeur apeuré n'est qu'un effet de cadrage... et de circonstance. En réalité, c'est sur un rat géant, une impressionnante bestiole de 50 cm de long et plus de 700 grammes que deux chercheurs australiens ont mis la main au cœur des îles Salomon, dans l'océan Pacifique. La découverte et la description de cette nouvelle espèce, baptisée *Uromys vika*, est publiée dans la revue *Journal of Mammalogy*.

Six ans que Tyrone Lavery courait après ce que les habitants de l'île de Vangunu, dans l'archipel mélanésien, baptisent le *vika*. «J'étais venu en 2010 voir la faune exceptionnelle de cette île et les habitants m'ont parlé de ce rat géant qui vivait dans les arbres et cassait les noix de coco avec ses dents», se souvient le biologiste, aujourd'hui en poste au Field Museum de Chicago. L'archipel compte quelques rongeurs impressionnants, dont le rat géant de Poncelet – un bon kilogramme sur la balance. Mais la province occidentale, où se trouve Vangunu, ne connaît que le modeste rat noir, alias *Rattus rattus* – à ne pas confondre avec *Rattus norvegicus*, le rat brun qui terrorise actuellement les services de la Ville de Paris. «Aucun nouveau rongeur n'avait été trouvé sur les îles Salomon depuis 80 ans, poursuit Tyrone Lavery. J'ai pensé que ça pouvait être l'occasion.»

Alors le chercheur part en chasse. Il concentre ses efforts sur la zone protégée autour du village de Zaira. «Nous avons mis en place des pièges, installé des caméras à détection de mouvement, circulé en voiture avec des projecteurs, ratissé les arbres creux... Sans résultat. Je n'avais aucun doute que les villageois disaient vrai, leur connaissance de la nature est remarquable. Mais je craignais que l'animal soit éteint.»

C'est finalement en bordure de cette zone, en novembre 2015, que Hikuna Judge, un agent forestier – cosignataire de l'article –, découvre un spécimen abrité dans un tronc récemment abattu. «Il m'a appelé, l'animal était blessé, probablement lors de la chute de l'arbre. J'étais en Australie. Quand je suis arrivé, il était mort.»



Ce spécimen d'«*Uromys vika*» mesure 50 cm.
COURTESY OF TYRONE LAVERY

Les villageois ont confirmé qu'il s'agissait bien d'un *vika* – d'où le nom choisi par Lavery. Le scientifique a recueilli de l'ADN et opéré des comparaisons avec toutes les espèces voisines connues disponibles dans les collections, en particulier celles du genre *Uromys*, propre à cette région du monde. L'écart génétique enregistré ne laisse aucun doute sur la nouveauté de l'espèce. De plus, son anatomie et les observations effectuées dans la zone confirment les récits locaux. L'animal à la fourrure brun-oranger vivrait dans la canopée, parfois à plus de 30 mètres de hauteur et utiliserait ses larges pattes mais aussi sa queue pour se déplacer dans les arbres. S'ils n'ont pas retrouvé de noix de coco ouvertes, ils ont mis la main sur d'autres noix percées et vidées de leur chair par l'animal.

Cette découverte rappelle la richesse exceptionnelle de la faune insulaire. Partout dans le monde, l'isolement a permis à la fois l'évolution particulière de certaines espèces et leur protection, faute de prédateurs. Aux Salomon, la moitié d'entre elles n'existeraient nulle part ailleurs. Mais l'introduction d'espèces concurrentes, de prédateurs comme les chats et surtout la réduction de l'habitat sauvage mettent en péril cette biodiversité. Dans le millier d'îles de l'archipel des Salomon, l'exploitation forestière constitue la première menace. «Le principal objectif de notre travail: protéger les espèces», insiste Tyrone Lavery. Or, on ne protège que ce que l'on connaît. Nous allons donc essayer de trouver d'autres vikas vivants. Mais d'ores et déjà, nous lançons une campagne de financement participatif baptisée *Le Rat, la tortue et la chauve-souris*, du nom de trois animaux menacés de Vangunu.» Une jolie fable à la morale encore incertaine. ■

NATHANIEL HERZBERG