

# science Le Monde & médecine

## Publier ou périr Malédiction pour la recherche

1|2



La vie des scientifiques est centrée sur une obsession : publier leurs résultats. Carrière, honneurs, moyens, tout en dépend. Cette pression induit des effets pervers qui minent recherche et chercheurs. Ce dossier en deux volets est réalisé en collaboration avec « Le Temps »

**E**n simplifiant beaucoup, l'activité scientifique peut se voir comme une machine à produire des articles, qui seront comme autant de diamants s'accumulant sur la haute pyramide de la connaissance. Ils sont comptés, pesés et leur valeur estimée. Ils sont aussi utilisés pour évaluer l'excellence de tel chercheur ou telle université, et ainsi convertis en moyens financiers qui serviront à fabriquer de nouvelles pierres précieuses...

Le cercle se veut vertueux mais la machine connaît de sérieux ratés. Parmi les 2,5 millions

d'articles écrits tous les ans, il n'est pas rare de trouver des « diamants » défectueux, c'est-à-dire des articles faux, y compris produits par les meilleures équipes et publiés dans l'élite des revues scientifiques. Il est aussi fréquent de tomber sur des articles aux conclusions peu fiables, qui mettent en cause la rigueur du contrôle qualité qui consiste à faire évaluer les travaux des chercheurs par d'autres (*peer review*). L'impossibilité de répéter certaines expériences fait aussi douter de la fiabilité du système. En outre, la captation des ressources fournies par le contribu-

ble au profit de quelques éditeurs ou journaux commence à agacer les ouvriers de ces usines à produire des articles.

Bref, les coulisses du système de production et de diffusion des connaissances ne sont pas aussi reluisantes que l'aura qui entoure généralement la profession de chercheurs pourrait le laisser penser.

*Le Monde* et *Le Temps* ont décidé d'enquêter sur cinq facettes sombres de ce système : la dictature du chiffre (résumée par l'adage « *publier ou périr* ») ; la confiscation de la connaissance ; les failles du *peer reviewing* ; l'embellissement des résultats ; la crise de la reproductibilité. Ces plaies ne sont pas les seules à miner la recherche. Le manque de moyens, la précarité, la bureaucratie, les conflits d'intérêts... perturbent aussi la vie des chercheurs. Mais elles illustrent à elles seules un profond malaise qui a déjà soulevé quelques vents de révolte.

Alors, bien sûr, ces problèmes de qualité sont minoritaires. Le taux de malhonnêteté n'est pas plus grand chez les chercheurs que dans les autres professions. Bien sûr, toutes les discipli-

nes ne sont pas logées à la même enseigne. Les mathématiciens publient moins et mieux que les biologistes. Les physiciens sont plus rigoureux que les psychologues... Bien sûr, des pays s'accoutument plus que d'autres de ces défauts de qualité. Bien sûr, décrire l'activité des revues comme une simple confiscation de la connaissance est réducteur.

Il n'empêche que ces faces sombres révèlent à quel point, ces dernières années, le système de recherche s'est profondément transformé. Par quelque bout qu'on le prenne, toujours revient un de ses maillons essentiels, les publications scientifiques, et surtout leur métamorphose en unité comptable de l'activité scientifique. La logique gestionnaire et ses effets pervers diffusent dans toute la chaîne.

La situation devient si intenable que partout naissent des initiatives pour corriger ces problèmes, les prévenir, voire pour rompre totalement avec cette nouvelle logique. Les mines des diamants de la recherche seraient-elles au bord de la révolte ? ■

DAVID LAROUSSIERE

### Un patient sort d'un « état végétatif » après stimulation

Quinze ans après son accident de la route, un homme a récupéré des bribes de conscience après stimulation du nerf vague. Ce résultat soulève des questions médicales et éthiques.

PAGE 2



### Archéologie : dans la maison de campagne des évêques de Thérouanne

La fouille d'une demeure médiévale dans le Pas-de-Calais a révélé des carrelages de toute beauté, qui seront préservés.

PAGE 3



### Mousquetaire de l'intelligence artificielle

Yoshua Bengio figure parmi la poignée de pionniers qui ont cru aux réseaux de neurones. Les géants du numérique lui font aujourd'hui de l'œil. Mais il préfère son indépendance.

PAGE 8

# Stimulé, un patient récupère une conscience minimale

NEUROSCIENCES - Plongé depuis quinze ans dans un état d'« éveil non répondant », un homme de 35 ans a recouvré des signes de conscience grâce à la stimulation électrique du nerf vague. Des résultats qui soulèvent des espoirs mais aussi de nombreuses questions éthiques

**I**l était plongé depuis quinze ans dans un état d'« éveil non répondant », souvent encore nommé « état végétatif ». Cet homme, aujourd'hui âgé de 35 ans, a récupéré un état de conscience minimale. Comment ? Grâce à une intervention neurochirurgicale : la stimulation électrique répétée d'un nerf crânien, le nerf vague. Ce résultat, publié lundi 25 septembre dans la revue *Current Biology*, a été obtenu par une équipe lyonnaise associant l'Institut des sciences cognitives-Marc Jeannerod (CNRS - université de Lyon) et les Hospices civils de Lyon. « Cette avancée très importante ouvre une nouvelle piste thérapeutique pour des patients à l'état de conscience altéré », s'enthousiasme le professeur Lionel Naccache, de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM, hôpital de la Pitié-Salpêtrière) à Paris, qui n'a pas participé à l'étude.

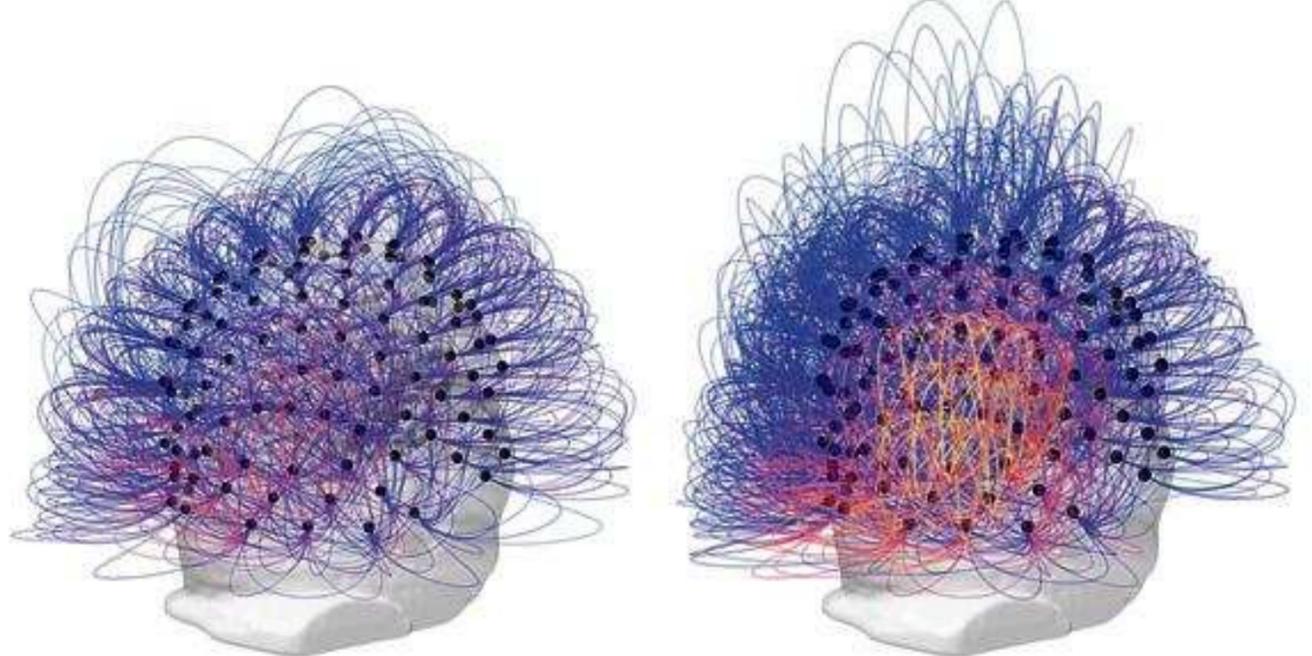
Ce résultat ne manquera pas de raviver un âpre débat médical, scientifique, philosophique et éthique. Quel pronostic livrer chez un patient qui présente un trouble grave de la conscience ? Avec quelle fiabilité ? Quelle prise en charge lui offrir ? Pour quelle qualité de vie, et dans quel espoir ?

« Un vieux dogme voudrait qu'il n'existe aucune chance d'amélioration chez les patients sévèrement cérébrolésés depuis plus d'un an. Mais ce dogme est faux, comme le confirme cette étude. La plasticité cérébrale, cette capacité de remodelage et d'adaptation de notre cerveau, est parfois étonnante », explique le professeur Steven Laureys, à la tête du GIGA-Consciousness de Liège (Belgique), un des leaders du domaine – il n'a pas non plus participé à l'étude. « C'est un traitement chirurgical très prometteur », estime-t-il, regrettant toutefois la concision de la description clinique du patient.

## Accident de la route

Ils seraient mille cinq cents en France à être plongés dans un état d'éveil non répondant ou dans un état de conscience minimale. Ce, à la suite d'un traumatisme crânien, d'un infarctus, d'un AVC... Ces patients alternent des phases d'éveil (ouvrant alors spontanément les yeux) et de sommeil. Dans l'éveil non répondant, la conscience semble totalement absente. Les seuls mouvements observés sont réflexes. Dans l'état de conscience minimale, il suit des yeux un miroir, sourit ou pleure dans des situations appropriées, répond parfois à des commandes simples, mais sans possibilités de communication. Pour autant, « la distinction entre ces deux états reste difficile », reconnaît Steven Laureys.

Revenons à ce patient décrit dans l'article de *Current Biology*, signé par Martina Corazzol en première auteure. A l'âge de 20 ans, il a été victime d'un accident de la route qui a créé de graves lésions cérébrales. Suivi dans le service du professeur Jacques Lauté, mais vivant au domicile de sa mère, il était considéré, depuis quinze ans, comme étant dans un état d'éveil non répondant. « Nous avons voulu explorer les effets de la stimulation du nerf vague chez ce patient : nous avons discuté avec sa famille et obtenu l'accord de celle-ci,



Avant et après la stimulation du nerf vague. A droite, en jaune orangé, l'augmentation de l'activité cérébrale dans la région pariétale.

CURRENT BIOLOGY

ainsi que celui du comité d'éthique », explique Angela Sirigu, coauteure et contributrice du supplément « Science & médecine » du *Monde*.

Mais pourquoi le nerf vague ? Il innerve un territoire très étendu, qui comprend les poumons, le cœur, l'intestin... Mais, surtout, ses terminaisons pénètrent dans le tronc cérébral, à la base du cerveau, pour y stimuler la « formation réticulée ». Or, cette structure est un élément critique de la conscience : c'est un système d'allumage et d'éveil. « Pour que nous soyons conscients, il faut deux conditions : la première est ce système d'allumage du cortex, précise Lionel Naccache. La seconde est la présence d'un réseau de neurones fonctionnel, qui se caractérise par des communications à longue distance dans le cerveau. »

La stimulation du nerf vague est une technique éprouvée : dans le monde, « plus de 60 000 patients en ont bénéficié pour traiter une épilepsie ou une dépression », écrivent les auteurs d'un article paru, en 2013, dans *Neurological Research*. Cette équipe new-yorkaise, dirigée par Uzma Samadani, mène une étude prospective, randomisée, sur les effets de cette technique chez des patients à l'état de conscience altéré. Mais ses résultats ne sont pas connus.

En parallèle, les équipes lyonnaises avaient démarré un projet analogue. Elles ont implanté une électrode dans le cou de ce patient, à proximité de l'artère carotide, pour stimuler le nerf vague gauche. Celle-ci a été reliée, sous la peau, à un générateur d'impulsions électriques implanté sous la cla-

vicule. Jour et nuit, une stimulation de 30 hertz a été appliquée, par cycles de trente secondes, suivies de cinq minutes d'arrêt. Les auteurs ont progressivement augmenté l'intensité.

Résultat : pas d'effets immédiats. Mais, après un mois de cette stimulation, une double amélioration était observée. Le patient suivait des yeux un objet et il se conformait à des ordres simples, ce qu'il ne faisait pas auparavant. « Par exemple, lorsque nous lui demandions de tourner la tête vers la droite, il le faisait très lentement », témoigne Angela Sirigu. Il réagissait aussi à une forme de « menace » : il écarquillait les yeux quand une personne approchait son visage très près du sien. Sa mère rapportait qu'il restait davantage éveillé quand un thérapeute lui lisait un livre. « Nous avons vu une larme couler sur sa joue quand il écoutait une musique qu'il aimait », ajoute Angela Sirigu, à propos des réactions sur le plan émotionnel.

## Plasticité cérébrale

Par ailleurs, l'enregistrement de l'activité du cerveau a révélé des changements importants. L'électroencéphalographie a retrouvé chez ce patient une « signature » spécifique d'un état de conscience minimale, précédemment découverte dans les groupes de Stanislas Dehaene et Lionel Naccache. Et le PET scan a révélé une augmentation de l'activité métabolique du cerveau, dans des régions du cortex comme dans des régions plus profondes.

La stimulation du nerf vague pourra-t-elle améliorer de façon durable la plasticité cérébrale, même après l'arrêt de la stimulation ? Qui seront les patients qui pourront en bénéficier ? « Tous ne pourront pas y répondre », estime Steven Laureys. Impossible à ce stade d'extrapoler. « Nous voyons chaque semaine des patients et leurs familles : chaque trajectoire est unique », relève Lionel Naccache.

Au-delà, la découverte conduit à s'interroger sur la notion « d'amélioration » d'un état de conscience, dès lors qu'elle permet à un patient de prendre conscience de la gravité de son état. « C'est une vraie question, admet Angela Sirigu. Pour moi, le principal enjeu est de poursuivre l'amélioration, au-delà d'un état de conscience minimale, chez certains patients. »

La technique pourrait-elle aussi redonner à certains patients un pouvoir décisionnel ? Pourrait-elle leur permettre de dire, à leurs proches et aux médecins, s'ils veulent – ou non – une poursuite de leurs soins ? Vertigineuse question, qui renvoie bien sûr à l'affaire Vincent Lambert.

« Ce drame souligne d'abord l'importance, pour chacun de nous, d'identifier une personne de confiance ou d'établir ses directives anticipées », dit Steven Laureys. Ce document écrit, daté et signé, permet de spécifier les soins médicaux que l'on voudrait – ou pas – recevoir, au cas où l'on serait devenu inconscient ou incapable d'exprimer sa volonté. « Nous sommes tous des Vincent Lambert potentiels. » ■

FLORENCE ROSIER

# Quand les mains sont obligées de faire le même geste

GÉNÉTIQUE - Des Français ont identifié un nouveau gène impliqué dans une maladie rare, le syndrome des mouvements en miroir congénitaux

**M**anon avait 9 mois quand ses parents se sont rendu compte que ses deux mains « marchaient » toujours ensemble. Dès que l'une faisait un geste, l'autre le reproduisait à l'identique. Quand un diagnostic a été posé chez la fillette, vers 2 ans, Sandrine Bouteloup a aussi mis un nom sur ses propres difficultés : syndrome des mouvements en miroir congénitaux (Momic). Dès l'enfance, elle avait découvert cette sensation étrange que ses mains étaient incapables de faire des gestes indépendants. Un médecin avait parlé d'hyperactivité. Et c'en était resté là, car, hormis le fait d'avoir renoncé à jouer d'un instrument de musique, elle n'était pas si gênée dans sa vie.

Les troubles de Manon sont bien plus sévères que ceux de sa mère. A bientôt 9 ans, elle est en CM1, mais son environnement scolaire a été beaucoup adapté. Depuis quelques mois, par exemple, elle

écrit sur ordinateur. L'écriture manuelle était une épreuve, car la main qui n'écrivait pas se contractait tout autant que l'autre, déclenchant des douleurs « comme si on lui tapait dessus ». « Elle était tellement concentrée sur l'écriture qu'elle ne retenait presque rien, elle était plus lente que les autres », raconte Sandrine Bouteloup.

## Maladie rare

Le syndrome des mouvements en miroir congénitaux est un trouble très rare, qui touche moins d'une personne sur un million. Quand le professeur Emmanuel Flamand-Roze, neurologue à la Pitié-Salpêtrière (APHP, Paris) et chercheur à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM), commence à s'y intéresser, en 2009, il n'y a pas de recensement des cas en France. Il rêve alors de découvrir le premier gène impliqué dans ce syndrome, mais sera devancé par des chercheurs canadiens, qui y par-

viennent en 2010 en identifiant le gène DCC. Peu après, en 2012, Emmanuel Flamand-Roze et son équipe ont établi le rôle d'un deuxième gène, nommé RAD51, en étudiant une grande famille française. Ils sont aussi à l'origine de la troisième découverte génétique, publiée le 25 septembre dans le *Journal of Clinical Investigation*.

Pour recruter un nombre suffisant de patients, les chercheurs français ont collaboré avec les deux autres équipes qui travaillent sur ce sujet dans le monde, au Québec et en Nouvelle-Zélande. Les travaux ont été financés par la Fondation Desmarrest. « Il s'agit d'un gène codant pour la nétrine 1, une protéine qui guide les axones – les prolongements du neurone qui conduisent l'influx nerveux – au cours du développement », précise le spécialiste. Depuis vingt ans, cette famille de gènes a donné lieu à d'intenses recherches, mais jusqu'ici aucune

maladie humaine n'avait été associée à une mutation. »

Peu à peu, grâce à ces études génétiques et des investigations du cerveau (IRM, examens électrophysiologiques), les mécanismes du Momic s'éclaircissent. En principe, le système moteur a une organisation croisée : le cerveau gauche commande les gestes effectués du côté droit et vice-versa. « Nous avons montré que ces patients ont un défaut de croisement des voies motrices », décrypte Emmanuel Flamand-Roze.

## Sévérité fluctuante

Quand un diagnostic est posé, une analyse génétique peut être proposée dans la famille. Le syndrome se transmet sur le mode autosomique dominant, c'est-à-dire qu'il suffit d'un gène défectueux pour être atteint. Mais il est à « pénétrance variable », ce qui signifie que la sévérité des troubles fluctue d'un individu à l'autre.

Dans la famille Bouteloup, une mutation du gène DCC a été retrouvée chez plusieurs membres, sur trois générations. Jules, un autre petit patient d'Emmanuel Flamand-Roze, est lui aussi porteur d'une anomalie sur le gène DCC, mais il est le seul à avoir la maladie dans sa famille.

Agé de 11 ans, il est très gêné par son syndrome. Il est scolarisé en sixième dans une classe « dys » (destinée aux élèves qui ont des troubles de l'apprentissage comme la dyslexie, la dyspraxie...), avec un accompagnement par une auxiliaire de vie scolaire (AVS). « Ça a été dur à encaisser pour lui, car tous les gestes du quotidien sont touchés », décrit sa mère, en insistant sur la grande fatigabilité de son garçon. Elle évoque aussi le parcours du combattant pour « trouver les bonnes personnes », gérer le quotidien, faire face financièrement aux frais non remboursés. Il faut aussi composer avec les

moqueries, adapter les loisirs. Jules, qui adorait le foot, a un temps arrêté, car il était la risée des autres gamins : il courait les bras devant, incapable de les balancer alternativement. Manon, elle, s'est vu éjectée du cours de twirling bâton, parce que pas adaptée aux concours. « Avec l'équitation, cela a été une métamorphose complète. Elle oublie complètement sa maladie et a trouvé des astuces pour guider son poney », se réjouit Sandrine Bouteloup.

Astuce est le mot-clé pour ces familles : pour contenir la main « parasite » pendant que l'autre fait un geste, certains se la calent sous une jambe, d'autres serrent une balle en mousse... Au fil du temps, certains déploient des trésors d'imagination pour vivre leurs rêves. Emmanuel Flamand-Roze suit ainsi un pianiste qui s'est composé des morceaux ad hoc, et même un pilote d'avion. ■

SANDRINE CABUT

# Un manoir épiscopal sauvé des eaux

ARCHÉOLOGIE - Une demeure médiévale aux sols richement décorés a été mise au jour à Saint-Martin-d'Hardinghem, dans le Pas-de-Calais. Le carrelage luxueux va être préservé

SAINT-MARTIN-D'HARDINGHEM  
(PAS-DE-CALAIS) - envoyé spécial

Ah, si les vaches pouvaient parler... Elles qui, depuis des temps immémoriaux, paissent sur les bords de l'Aa, fleuve chéri des verbiéris, pourraient répondre aux questions des archéologues qui, à Saint-Martin-d'Hardinghem (Pas-de-Calais), achèvent la fouille, commencée en 2016, d'un site hors du commun. C'est un pré qu'on va prendre aux bêtes afin d'y construire un des dix bassins de crue – les techniciens parlent de « champs d'inondation contrôlée » – où se déversera le trop-plein de l'Aa pour éviter les débordements qui submergent trop souvent les villes de sa vallée.

Mais, avant de creuser, on s'est souvenu que le lieu-dit bucolique s'appelait La Cour Lévêque. Parce qu'ici, au XIV<sup>e</sup> siècle, l'évêque de Thérouanne avait fait édifier sa maison de campagne. Plutôt un manoir en réalité. « C'est un phénomène global au Moyen Âge, explique Guy Flucher, de l'Institut national d'archéologie préventive (Inrap) et responsable de la fouille. A partir du XII<sup>e</sup> siècle, les évêques se font construire des résidences secondaires. Elles ont la même fonction que maintenant : passer des vacances à la campagne, dans la verdure, souvent près de l'eau. »

## Luxe et ostentation

D'où l'idée de s'installer là, près de l'Aa, à moins de 15 km de Thérouanne, qui, après avoir été la capitale de la tribu gauloise des Morins, est devenue le centre d'un diocèse aussi important que riche. Et sera rasée sur l'ordre de Charles Quint en 1553.

Les évêques de l'époque sont des fils de familles nobles, habitués à vivre dans le luxe et l'ostentation. Et cela se voit dans les vestiges. Le domaine se divise en deux : une partie agricole avec une grande bâtisse – écurie, grange, ou les deux à la fois ? –, jouxtant une petite habitation, et une partie résidentielle qui n'a rien à envier à une demeure aristocratique. On passe les larges douves par un ponton qui donne sur une cour. Passé l'entrée, on arrive dans une salle d'apparat de 8 mètres de large sur 18 mètres de long, dotée



A Saint-Martin-d'Hardinghem (Pas-de-Calais), les fouilles d'une maison de campagne épiscopale ont révélé un somptueux carrelage et une imposante cheminée (au second plan) datant du XIV<sup>e</sup> siècle. DENIS GLIKSMAN/INRAP

d'une cheminée imposante, à moitié encastrée dans un mur épais, qui englobait des morceaux de troncs de 3 mètres de long. Derrière cette salle passe une large galerie.

Outre le fait qu'il est rare de fouiller ce genre de demeure, ces deux pièces s'avèrent exceptionnelles, parce que le carrelage médiéval y a presque entièrement été conservé.

A dominante vert foncé dans la grande salle, rouge dans la galerie, le pavement est magnifiquement décoré. « On a recensé environ 25 motifs différents, dit Laetitia Dalmau, archéologue au conseil départemental du Pas-de-Calais, avec tout un bestiaire médiéval : des lions, des aigles, des poissons, un basilic. On a aussi des chevaliers, des fleurs de lys, des marguerites avec quatre, cinq ou six pétales, des blasons, un jeu de marelle, des motifs foliacés, géométriques ou de chasse à courre... » Tout est bien ordonné, sauf près de la cheminée, où certains carreaux, qui avaient craqué sous l'effet de la chaleur, ont été remplacés par ce

que l'on avait sous la main. C'est ainsi qu'est apparue, à un seul exemplaire, une petite sirène jouant de la viole...

La commission interrégionale de la recherche archéologique ayant décidé de sauvegarder l'intégralité de ce pavement admirable, une équipe de restauratrices vient de commencer à prélever les carreaux, par petits panneaux.

## Course contre la montre

Un travail de plusieurs semaines, qui s'annonce long et difficile, à genoux dans la gadoue. Une course contre la montre, l'eau et l'automne : la nappe phréatique ne demande qu'à remonter à la moindre pluie et il a déjà fallu pomper pour dégager les salles.

Après leur dépose, les carreaux seront étudiés et restaurés car beaucoup sont fissurés. Sylvie François, directrice de l'archéologie du département, pense déjà au coup suivant : « Restituer le site au public. Pour cela, il faudra trouver un musée qui ait l'espace et les moyens d'accueillir et d'exposer ce pavement de 200 mètres carrés. »

Avant cela, les archéologues regarderont ce qu'il y a sous le carrelage et la cheminée. On ne sait jamais... Surtout, les chercheurs sont sûrs qu'un grand morceau du domaine leur fait défaut. « Il y a un côté frustrant, se lamente presque Guy Flucher : on n'a que la moitié du site. Les autres 50% sont sous la pâture d'à côté et on les devine à des microreliefs sur le sol. »

En effet, si l'on poursuit son chemin dans le manoir, la galerie donne sur... le bout de la parcelle. Une haie bordée d'un chemin et d'un pré qui ne sont pas concernés par la fouille préventive, puis le bassin de crue n'ira pas si loin... Les archéologues ont une bonne idée de ce qu'ils pourraient y trouver : « Il manque la chapelle, élément important de toute demeure épiscopale », souligne Guy Flucher.

Qu'y avait-il d'autre dans cette demeure qui est tombée en désuétude après la disparition du diocèse de Thérouanne au XVI<sup>e</sup> siècle ? Mystère. Encore une fois, on regrette que les vaches ne parlent pas. ■

PIERRE BARTHÉLÉMY

## TÉLESCOPE

### THÉRAPIE GÉNÉRIQUE

#### Lancement d'un essai clinique contre une forme de myopathie

L'AFM-Téléthon a annoncé, le 25 septembre, le démarrage du premier essai clinique de thérapie génique pour traiter la myopathie myotubulaire. Cette maladie rare liée à l'X, qui touche 1 garçon nouveau-né sur 50 000, entraîne dans sa forme la plus grave une hypotonie et une faiblesse musculaire généralisée, ainsi que le décès dans les premières années de vie. Depuis 2009, l'équipe d'Ana Buj-Bello (Généthon, Inserm), en collaboration avec des équipes américaines, a travaillé au développement d'un vecteur viral capable de véhiculer le gène MTM1 dans les muscles. Des résultats spectaculaires chez le chien ont été publiés. Un premier patient a été traité aux Etats-Unis, et cet essai international inclura au total 12 enfants de moins de 5 ans.

## 4H11

C'est le temps moyen passé devant un écran chaque jour par les enfants, en 2015. Soit une heure de plus qu'en 2006. Telle est l'une des données de l'étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (Esteban), réalisée auprès de 2 678 adultes et 1 182 enfants de 6 à 17 ans par auto-questionnaire, présentée le 26 septembre par Santé publique France. Autre indication préoccupante, seuls 28% des garçons et 18% des filles atteignaient les recommandations de l'OMS (au moins une heure par jour d'activité modérée à soutenue). Pour les adultes, 53% des femmes et 70% des hommes atteignaient les recommandations de l'OMS. Alors que les hommes bougent plus qu'en 2006 (où ils étaient 64%), le niveau d'activité physique des femmes a reculé de 10% en dix ans. De plus, 9 adultes sur 10 rendent compte d'un niveau de sédentarité modéré ou élevé. En cause, 80% d'entre eux déclaraient passer trois heures ou plus devant un écran par jour, hors activité professionnelle.

### ARCHÉOLOGIE

#### Fashion week contrastée à l'âge du fer



Durant l'âge du fer (entre -1000 et -400 avant J.-C.), les textiles portés en Italie et en Grèce provenaient de sources d'inspiration distinctes, révèle une vaste étude sur des étoffes retrouvées dans des tombes. « Nous avons la chance qu'à cette époque les gens aient été enterrés avec des objets métalliques qui avaient une action antimicrobienne et protectrice », explique Margarita Gleba (université de Cambridge). La chercheuse a ainsi pu constater que la mode textile en Italie était proche de celle d'Europe centrale tandis que, en Grèce, les étoffes étaient très voisines de celles portées au Proche-Orient (en photo, une pièce trouvée à Corfou). Cette différence s'est maintenue jusqu'à l'installation de colonies grecques dans le sud de l'Italie, qui a favorisé l'influence orientale. (PHOTO : ARTEX) > Gleba, « Antiquity », 22 septembre.

### RECTIFICATIFS

#### Alcoolisation fœtale

Dans le supplément « Science & médecine » du 30 août, dans l'article intitulé « Alcool et grossesse, un cocktail toujours délétère », il était indiqué que le syndrome d'alcoolisation fœtale (SAF) a été défini pour la première fois par Kenneth Jones et David Smith dans la revue *The Lancet* en 1973. Ce syndrome avait en réalité été décrit (mais non nommé) en 1968 par un pédiatre nantais, Paul Lemoine ; et avant lui, Jacqueline Rouquette avait, dans sa thèse de médecine de 1957, dressé le tableau clinique des fœtopathies alcooliques.

#### Mathématiques et vaccination

Dans le supplément « Science & médecine » du 20 septembre, une erreur s'est introduite dans l'article « La vaccination sous l'œil des mathématiques ». Il fallait lire, ainsi que Etienne Ghys l'avait initialement écrit : « Il y a donc un seuil (qui est de 90% dans notre exemple) » et non « 95% » comme publié.

# Ces rayons cosmiques venus d'ailleurs

ASTROPHYSIQUE - Les 1600 piscines de l'observatoire Pierre-Auger, en Argentine, ont capté des pluies de particules de très haute énergie. Leur origine extra-galactique a pu être prouvée

Curieuse installation scientifique que ce laboratoire Pierre-Auger : 1600 piscines installées selon un motif régulier dans l'ouest de l'Argentine. Répartis sur 3000 km<sup>2</sup>, ces bassins d'eau pure et les détecteurs qui les équipent attendent des visiteurs célestes, les rayons cosmiques. Et en particulier les plus rares et les plus mystérieux d'entre eux, ceux qui disposent d'une énergie si phénoménale que le plus performant accélérateur de particules créé par l'homme, le LHC, fait figure de générateur de pichenettes à côté de ces puncheurs de l'espace, un million de fois plus puissants.

Lorsqu'une de ces particules (protons ou noyaux d'atomes légers), voyageant à une vitesse proche de celle de la lumière, arrive sur Terre, sa collision avec les atomes de l'atmosphère pro-

duit une cascade de particules secondaires, un véritable Niagara, car des milliards de particules finissent par doucher le sol.

Ce sont ces témoins indirects du rayonnement cosmique que guette depuis 2004 le laboratoire Pierre-Auger – qui porte le nom du scientifique français qui décrit le premier ces gerbes en 1939.

## Un coin du voile levé

Dans une étude publiée le 22 septembre par *Science*, les quelque 400 chercheurs de 18 pays qui collaborent à ce projet livrent le résultat de treize ans d'observations et lèvent le coin du voile sur les mystères des rayons cosmiques à haute énergie dont on ignore tant l'origine – galactique ou extra-galactique – que le mécanisme qui les engendre. Etant électriquement chargées, ces particules sont en effet

déviées en traversant le champ magnétique naturel qui baigne la Voie lactée, au point que déterminer d'où elles sont apparues revient un peu à vouloir deviner où est le Soleil quand on tâtonne en plein brouillard.

Pourtant, en cumulant les données de 30 000 événements, les auteurs de l'étude ont fini par découvrir une sorte de direction préférentielle dans le ciel, une zone où le flux de rayons cosmiques est de 6% plus élevé que si l'origine de ces particules était complètement uniforme. Surtout, comme l'explique l'un des coauteurs de l'article, Antoine Letessier-Selvon, directeur de recherches au Laboratoire de physique nucléaire et des hautes énergies (CNRS-universités Paris-VI et Paris-VII), « la direction dans laquelle le flux est le plus intense se trouve quasiment à l'opposé du

centre de la Voie lactée. C'est une preuve assez forte que ces rayons cosmiques ne proviennent pas de notre galaxie », ce qui tranche une longue bataille de plusieurs décennies entre astrophysiciens.

Reste encore à déterminer de quelle(s) galaxie(s) ces particules proviennent. Pour y parvenir, les bassins du laboratoire Pierre-Auger sont en train d'être équipés de nouveaux détecteurs. Mais cela ne résoudra pas pour autant le cœur de l'énigme : déterminer par quels mécanismes astrophysiques ces particules assez lourdes ont pu être accélérées au point d'approcher la vitesse de la lumière. Antoine Letessier-Selvon énumère les suspects : « fusions d'étoiles, collisions de galaxies, hypernovae... Quelles qu'elles soient, les sources sont des choses extrêmement violentes ». ■

P. B.



# Publier La course à l'abîme

## LE SAVOIR EN VOIE DE CONFISCATION

**A** qui la connaissance scientifique appartient-elle? Aux chercheurs qui la produisent? Au public qui la finance par ses impôts? Ni à l'un ni à l'autre: elle est avant tout la propriété d'éditeurs, qui publient les résultats issus de la recherche dans des revues spécialisées... et veillent jalousement sur leur diffusion. Malgré les critiques dont ce système fait l'objet, des modèles alternatifs peinent encore à s'imposer.

Traditionnellement, les revues spécialisées qui publient les études scientifiques financent leur travail d'édition par la vente d'abonnements. Problème: ce modèle restreint beaucoup l'accès aux connaissances. « Il m'arrive de ne pas pouvoir lire un article intéressant, parce qu'il a été publié dans une revue à laquelle mon université n'est pas abonnée. Et la situation est encore bien pire pour les chercheurs des pays moins riches. Sans parler de tous les autres membres de la société que ces résultats pourraient intéresser, mais qui en sont privés: enseignants, créateurs de start-up, membres d'ONG... »,

s'agace Marc Robinson-Rechavi, chercheur en bio-informatique à l'université de Lausanne.

Le système actuel est par ailleurs très coûteux. « Les contribuables paient trois fois pour chaque article scientifique. D'abord, en rémunérant le chercheur qui fait les expériences. Ensuite, en s'acquittant des frais d'abonnement aux revues. Et parfois encore une fois, pour offrir un libre accès au contenu de l'article », s'insurge le président de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Martin Vetterli. Les frais pour les bibliothèques augmentent de 8% en moyenne par année, d'après la Ligue européenne des bibliothèques de recherche.

De fait, la publication scientifique est un business extrêmement rentable pour les géants du domaine, Elsevier, Springer Nature et Wiley, dont les marges dépassent souvent les 30%, dans un marché estimé à près de 30 milliards de dollars (25 milliards d'euros).

Un modèle d'édition alternatif a émergé voilà une vingtaine d'années: celui de l'accès ouvert (ou

« open access »). Le plus souvent, les frais d'édition et de diffusion de chaque article sont payés en une seule fois à l'éditeur, par l'institution scientifique du chercheur. Les articles sont alors accessibles gratuitement.

### Des articles en accès ouvert

De nombreux journaux en accès ouvert existent désormais. Certains sont largement reconnus pour la qualité de leur travail, à l'image du pionnier américain PLOS (ou Public Library of Science), à but non lucratif. Assez variables, les coûts de publication par article sont compris entre 1000 et 5000 euros en moyenne. Ce mode d'édition n'interdit donc pas les bénéfices pour l'éditeur. Pourtant, seuls 30% environ des articles sont actuellement publiés en accès ouvert. Un semi-échec qui s'expliquerait par le conservatisme du milieu, estime Marc Robinson-Rechavi: « Les journaux anciens sont davantage pris en compte dans la promotion des carrières. Il faudrait que les chercheurs soient incités à changer d'état d'esprit. »

Justement, la Commission européenne a décidé que, d'ici à 2020, toutes les études publiées par des scientifiques qui reçoivent de l'argent européen devront être diffusées en libre accès. « En France, on va aussi vers un renforcement de la publication en accès libre », affirme Marin Dacos, fondateur du portail français de diffusion de sciences humaines et sociales OpenEdition, chargé d'un plan sur la science ouverte auprès du ministère français de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

Certaines institutions scientifiques sont entrées en résistance. En Allemagne, plusieurs dizaines d'universités et bibliothèques sont en plein bras de fer avec le géant néerlandais Elsevier, pour obtenir de meilleures conditions d'accès aux articles publiés par leurs propres chercheurs. Elles menacent de ne pas renouveler leurs abonnements à la fin de l'année. Une telle stratégie avait déjà permis à l'association des universités néerlandaises d'obtenir des concessions de la part d'Elsevier il y a deux ans. Des mouvements analogues se retrouvent aussi en Finlande et à Taïwan, notamment.

Ce n'est sans doute pas un hasard si ce vent de rébellion souffle aujourd'hui: outre le ras-le-bol lié à une situation qui perdure, l'apparition en 2011 du site pirate Sci-Hub pèse dans la balance. Opérant depuis la Russie, il offre l'accès gratuitement à plusieurs dizaines de

millions d'études et de livres scientifiques. Une pratique certes illégale, et déjà condamnée aux Etats-Unis après une plainte d'Elsevier en juin, mais qui garantit que les chercheurs continueront d'avoir accès à une bonne part de la littérature scientifique, quel que soit le résultat des négociations avec les maisons d'édition.

De petits malins ont également profité du mouvement de l'open access pour s'enrichir en créant des revues présentant toutes les apparences du sérieux. Les honoraires sont raisonnables. Le chercheur se laisse convaincre. Sauf qu'en fait, le journal n'existe pas. Ou alors, il est beaucoup moins coté que ce qu'il prétend. Ou encore, il est de piètre qualité. Ces journaux dits « prédateurs » seraient au nombre de 8000, publiant environ 400 000 articles chaque année, selon une étude parue en 2015 dans *BMC Medicine*.

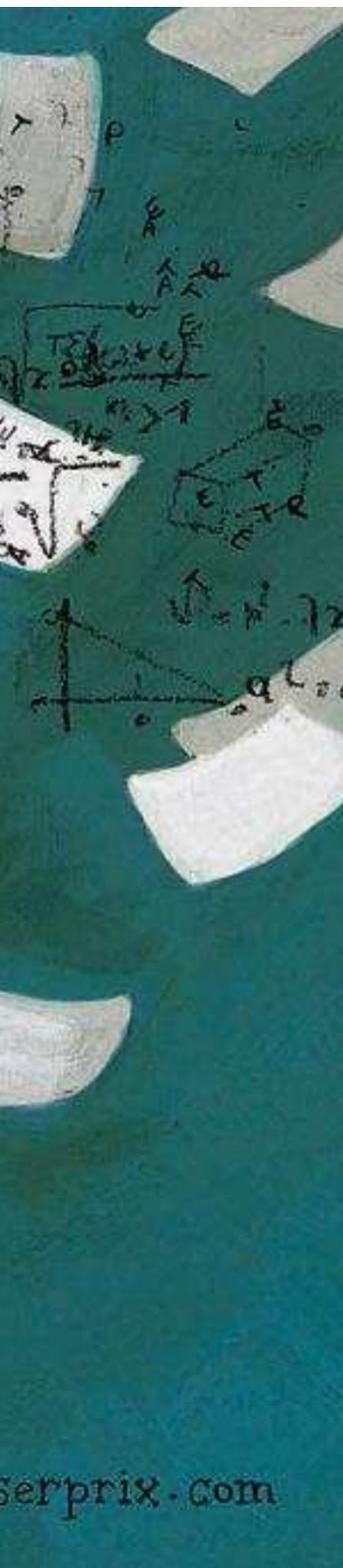
Est-on arrivé à un point de bascule? Martin Vetterli veut y croire:

**LA PUBLICATION SCIENTIFIQUE EST UN BUSINESS EXTRÊMEMENT RENTABLE POUR LES GÉANTS DU DOMAINE**

« Le monopole des éditeurs traditionnels va finir par tomber, à part peut-être pour certains titres très prestigieux comme *Science* et *Nature*, qui valent aussi pour leur travail de sélection. » Marin Dacos est également optimiste et explore de nouveaux modèles, dans lesquels les auteurs ou leurs institutions n'auront plus besoin de payer les frais d'édition de leurs articles, pourquoi pas grâce à une forme de financement participatif mobilisant les bibliothèques.

C'est ce que, depuis 2015, l'Open Library of Humanities propose en publiant de la sorte dix-neuf journaux en sciences humaines et sociales. Et c'est la voie choisie par un groupe de mathématiciens qui viennent de lancer *Algebraic combinatorics*, en démissionnant avec fracas d'un titre de la galaxie Springer cet été. Le nouveau venu suit les principes de la Fair Open Access Alliance. « Ces principes sont notamment un accès ouvert aux articles, l'absence de frais de publication pour les auteurs, la non-cession des droits d'auteur à l'éditeur... », indique Benoit Kloeckner, professeur de mathématiques à l'université Paris-Est et coauteur de cette charte avec une poignée de collègues. « Pour l'instant, il s'agit du seul journal à les suivre, mais nous allons montrer que cela peut marcher. » ■

PASCALINE MINET (« LE TEMPS »)  
ET DAVID LAROUSSIERE



## UN MODE D'ÉVALUATION DÉFAILLANT

C'est une étape incontournable pour tous les chercheurs : afin qu'un nouveau résultat soit accepté dans une revue scientifique, ils doivent le soumettre à des experts dans leur domaine. Ce processus d'évaluation par les pairs (*peer review* en anglais), effectué bénévolement, est considéré comme la méthode de référence de validation des découvertes scientifiques.

Brisons tout de suite le mythe : « *Le fait qu'une étude ait été évaluée par les pairs ne dit pas grand-chose sur sa qualité* », avertit Winship Herr, biologiste, professeur à l'université de Lausanne et ancien éditeur d'une revue scientifique. Le processus agit comme un premier filtre. « *Sans évaluation, environ 2% des articles publiés seraient corrects, reproductibles et intéressants. Grâce à la *peer review*, on arrive entre 10% et 50%* », estime David Vaux, professeur au Walter and Eliza Hall Institute de Melbourne, qui contribue au site américain Retraction Watch, spécialisé dans le suivi des articles retirés ou corrigés.

Si ce pourcentage reste bas, c'est entre autres parce que les relecteurs ne se basent que sur leur lecture de l'article et peuvent difficilement en vérifier les détails pratiques. En sciences expérimentales, un lecteur qui veut être certain qu'un résultat publié est valide n'a pas d'autre choix que d'essayer de le reproduire dans son propre

laboratoire. Mais impossible à tout un chacun de répéter toutes les expériences qui l'intéressent. « *La recherche devenant toujours plus spécialisée, tout le monde est obligé de faire de plus en plus confiance aux revues* », explique Christine Clavien, philosophe des sciences à l'université de Genève.

La plupart des revues qui pratiquent l'évaluation par les pairs ont une caractéristique commune : l'identité des relecteurs reste inconnue des auteurs et lecteurs. Le but est louable : protéger notamment les jeunes chercheurs, qui peuvent alors se permettre de critiquer les articles proposés par de grands pontes sans crainte de répercussions. Mais le processus n'est pas infaillible.

### Critique subjective

« *Les jeunes doctorants sont souvent plus critiques que les professeurs plus âgés, qui sont plus réalistes dans leurs demandes* », s'amuse Winship Herr. Plus préoccupant : impossible pour un chercheur de savoir si ses relecteurs anonymes ne sont pas des concurrents travaillant sur le même sujet de recherche que lui. Pas sûr dans ce cas que leur critique sera objective !

Au congrès international sur le *peer review* et les publications scientifiques qui s'est tenu à Chicago du 10 au 12 septembre, une équipe de l'American College of Physicians (une société savante médicale) a pointé un autre dé-

faut. Les évaluateurs trahissent les secrets qu'on leur a confiés dans la publication à étudier, soit en la donnant à lire à des collègues (11% des 1413 spécialistes ayant répondu à l'enquête), soit en s'en inspirant pour leurs propres travaux (2% des répondants) !

Certains détournent même le système à leur profit. Le chercheur sud-coréen Hyung-in Moon, spécialisé dans les plantes, a suggéré pour la relecture de ses travaux de faux experts... afin que les adresses e-mail fournies arrivent chez lui, ce qui lui a permis de devenir son propre relecteur. Vingt-huit de ses articles ont dû être retirés de la littérature scientifique à partir de la découverte de son forfait en 2012.

Ce type de fraude est même parfois institutionnalisé. L'entreprise

« LES RELECTEURS SONT PLUS INFLUENCÉS PAR LA RÉPUTATION D'UN AUTEUR QUE PAR UNE LECTURE ATTENTIVE DE SON ARTICLE »

DAVID VAUX  
WALTER AND ELIZA HALL  
INSTITUTE, MELBOURNE

pharmaceutique allemande Merck s'est ainsi fait prendre la main dans le sac, en 2009, après avoir acquis plusieurs revues scientifiques qui donnaient l'apparence d'être neutres et évaluées par des pairs, mais qui publiaient en réalité sans filtre des articles positifs concernant ses propres médicaments. Car l'apparence d'autorité de la revue scientifique compte également au-delà du monde de la recherche : « *Lexistence d'une publication revue par les pairs décrivant un médicament est un énorme avantage pour son homologation* », affirme Christine Clavien.

### Limites du système

De plus en plus consciente des limites du système, la communauté scientifique ne manque pas d'idées pour l'améliorer. Une proposition mise sur plus d'anonymat : s'ils travaillaient en double aveugle, les relecteurs ne connaîtraient pas les auteurs des manuscrits qu'ils critiquent et devraient ainsi être plus objectifs. Elle est défendue par David Vaux : « *Les relecteurs sont plus influencés par la réputation d'un auteur que par une lecture attentive de son article.* »

*Science Matters*, une nouvelle revue en ligne, va plus loin : elle applique un triple aveugle, cachant l'identité des auteurs même aux responsables du journal. Avec une limite pratique : entre experts, il reste facile de trouver qui se cache derrière un article anonyme... Si bien que certains envisagent un ajustement diamétralement opposé, dans lequel l'identité des relecteurs et leurs commentaires seraient divulgués.

D'autres chercheurs penchent cependant pour des changements plus profonds. « *On se dirige vers une séparation de l'évaluation et de la publication, les revues scienti-*

*fiques n'ayant plus l'exclusivité d'aucune de ces deux activités. Une évolution rendue possible par le développement du Web* », estime Jon Tennant, un paléontologue qui collabore avec la plate-forme Web ScienceOpen, laquelle permet notamment les commentaires d'articles et les interactions entre spécialistes. Un grand nombre de chercheurs met déjà à disposition publiquement des *preprints*, une version préliminaire de leurs articles de recherche qui n'a pas encore été transmise à une revue à comité de lecture, sur des sites tels que arXiv (en physique) et bioRxiv (en biologie). En France, une charte encourageant les biologistes à recourir à ce système, déjà largement adopté par la communauté des mathématiciens et des physiciens, est à l'étude dans les alliances regroupant l'ensemble des acteurs des sciences de la vie, de la santé et de l'environnement. D'autres sites, comme PubPeer, permettent de commenter ces *preprints* ou des articles déjà publiés.

Au congrès international sur la *peer review*, on notait que ces systèmes « ouverts » ont encore de la peine à décoller. Jon Tennant explique cela par une inertie très forte. Mais un autre problème subsiste : quel que soit le système, il est difficile de trouver des relecteurs qui ont le temps, les compétences et l'envie de faire ce travail chronophage et peu gratifiant.

Pour Jon Tennant, « *il n'y aura jamais une seule façon de faire de la lecture par les pairs, d'autant plus que le Web permet tellement d'innovations ! Dans tous les cas, le système vers lequel nous nous dirigerons devra reconnaître la valeur de la recherche elle-même, plutôt que le fait qu'elle a été publiée dans un journal réputé.* » ■

FRÉDÉRIC SCHÜTZ (« LE TEMPS »)  
ET D. L.

## LA MALMESURE DU MONDE DE LA RECHERCHE

Peter Higgs, le physicien père du fameux boson qui porte son nom, ne pourrait plus faire ses recherches aujourd'hui. Car il ne trouvait pas assez vite et ne publiait pas assez, a-t-il lui-même raconté après avoir obtenu son prix Nobel en 2013. L'université d'Édimbourg était à deux doigts de se passer de ses services lorsqu'il a été nommé une première fois en 1980, ce qui lui a finalement assuré d'être toléré jusqu'à son prix...

Si la science progresse grâce à la recherche, elle dépend depuis le XVII<sup>e</sup> siècle des journaux scientifiques pour être diffusée. C'est dans *Nature*, *Science*, *Cell*, *The Lancet* et autres qu'avancées et découvertes sont annoncées, commentées, reprises... Et c'est donc en publiant qu'un chercheur pourra faire la preuve de ses qualités à sa communauté.

Mais la machine s'est emballée. Les articles scientifiques sont devenus le critère qui fait que l'on croit en vous et qu'on vous donne des fonds, un poste, une promo-

tion. Une exténuante course à la publication s'est engagée dans le monde entier. Plus de 2,5 millions d'articles sont écrits tous les ans. « *Le hamster dans sa roue* », souffle une jeune biologiste, qui a souhaité garder l'anonymat. « *Depuis quelques dizaines d'années, l'article a changé de nature et est devenu la base de l'évaluation des chercheurs, de leurs institutions ou d'un pays... Les métadonnées – qui publie avec qui ? où ? – comptent plus que le contenu de l'article lui-même ! C'est un énorme changement* », estime Mario Biagioli, historien et sociologue des sciences à l'université Davis de Californie.

**Sans article, pas de doctorat**  
Si la pression à la publication paraît parfois dès le master, c'est durant le doctorat qu'elle s'impose. « *Sans article, pas de doctorat. Car plus une université a de publications, plus elle monte dans le classement de Shanghai* [ce classement mondial des universités les plus prestigieuses établi par l'université Jiao Tong de Shanghai] »,

explique un autre témoin anonyme. Les thèses sont donc devenues des listes de publications.

La course continue ensuite. Les postdocs, aux contrats à durée déterminée, sont aussi obsédés par leurs articles à publier pour continuer d'avoir des subventions, trouver un emploi. Même nommés, les universitaires restent soumis à la pression de la publication pour être confirmés, pour montrer à leurs employeurs qu'ils peuvent rapporter de l'argent, ou tout simplement pour mener leurs projets. « *On augmente la charge de cours des professeurs qui publient trop peu, ou on leur ajoute des tâches administratives* », raconte un mathématicien américain. Tout se passe donc comme si les universités et les bailleurs de fonds avaient délégué aux revues scientifiques le soin de faire le tri entre les projets, les idées et les chercheurs...

Mais il y a publier et publier. Plus de 25 000 journaux scientifiques existent aujourd'hui, fondés sur la sélection par les pairs (*peer review*),

dont 12 000 sont dotés d'un « facteur d'impact » et hiérarchisés dans le classement de Clarivate Analytics, entreprise ayant racheté Thomson Reuters qui en était à l'origine. Cet impact se fonde sur le nombre moyen de citations d'un article de la revue durant les deux années précédentes. Il est actuellement de 47 pour le *Lancet*, de 40 pour *Nature* et de 37 pour *Science*, et peut être inférieur à 1 pour les petites revues hyperspécialisées. Toute la difficulté pour un chercheur sera de viser le « bon » niveau de revue pour son article.

### Nouvelles métriques

La bibliométrie a pris le pouvoir, cette habitude confortable d'assimiler les chercheurs à des chiffres, comme l'omniprésent et controversé indice *h*, qui prend en compte leur nombre d'articles et le nombre de citations de ces articles dans d'autres études. De fait, cet indice désavantage les auteurs de peu d'articles, même s'ils sont importants. Celui de Peter Higgs, toujours lui, est ainsi de 11, alors qu'à l'Académie des sciences américaine les scores sont souvent supérieurs à 40.

De plus, de nouvelles métriques sont apparues depuis 2010, les *altmetrics*. Elles calculent l'impact d'un article sur le Web, en prenant en compte le nombre de citations sur Twitter, Facebook ou dans la presse, le nombre de visites ou de téléchargements – un indice qui mesure donc le « bruit » généré par un article, qu'il soit positif ou négatif.

Cette folle course à la publication et à la quantification induit des pratiques douteuses. On saucissonne des résultats pour obtenir trois articles là où un seul aurait suffi. On exagère l'importance d'une étude pour la rendre plus séduisante. On cite des pontes pour s'attirer leur bienveillance. On s'autocite à outrance pour « monter » dans les classements. On met en scène des mécanismes d'explication supposés au détriment des observations principales, socle de la science. Sans parler des fraudes pures et simples.

« *Fleming, le découvreur de la pénicilline, ne pourrait plus publier aujourd'hui* », s'indigne Lawrence Rajendran, fondateur de la plate-forme *Science Matters*, qui milite pour une science moins théâtralisée. « *Le traditionnel "publish or perish" ["publier ou périr"] est devenu "impact or perish" ["avoir de l'impact ou périr"]*. Ce n'est pas de la fraude au sens classique, mais ce n'est pas bon pour la confiance dans les travaux publiés », s'inquiète Mario Biagioli qui, en 2016, avait réuni un colloque sur les liens entre le développement des métriques et les inconduites scientifiques. Le système est-il pousse-au-crime ? « *Evidemment* », déplore Catherine Jessus, qui dirige les sciences de la vie au CNRS. Même si, précise-t-elle, elle n'a eu à connaître que « quatre cas graves de fraude – c'est-à-dire avec des données fabriquées – depuis 2013, sur 20 000 personnels statutaires et associés. »

Tous ces excès font réagir la communauté scientifique. En 2013 a été signée à San Francisco la Déclaration sur l'évaluation de la recherche (DORA), qui prône notamment l'abandon des facteurs d'impact pour juger un chercheur. « *C'est une méthode très peu scientifique, naïve et inadéquate que de prendre une revue comme mesure* », considère Matthias Egger, le président du Fonds national suisse de la recherche scientifique, bien décidé à mettre en place les procédures issues de la DORA. Le changement passe aussi par des innovations numériques pouvant remettre en question le rôle des journaux eux-mêmes dans la diffusion de la connaissance. ■

LA BIBLIOMÉTRIE A PRIS LE POUVOIR, CETTE HABITUDE CONFORTABLE D'ASSIMILER LES CHERCHEURS À DES CHIFFRES

CATHERINE FRAMMERY (« LE TEMPS ») ET D. L.



CARTE  
BLANCHELes ouragans,  
démonstrations  
de force(s)  
de la nature

Par ROLAND LEHOUCQ

Les ouragans Harvey, Irma et Maria, qui ont durement touché le Texas, la Floride et les petites Antilles, viennent nous rappeler l'ampleur que peuvent atteindre certains phénomènes naturels. Si leur intensité est généralement jugée à l'aune des destructions qu'ils causent, la physique les classe en évaluant l'énergie mise en jeu et le rythme avec lequel elle a été libérée.

Pour estimer l'énergie d'un ouragan, il faut prendre conscience qu'il s'agit d'une machine thermique qui tire l'énergie alimentant ses vents du transfert spontané de chaleur entre les eaux chaudes des surfaces océaniques tropicales et l'air froid de la haute atmosphère. Les ouragans se forment au-dessus de l'océan à la fin de l'été, quand la température des eaux de surface excède 26 °C. La force de Coriolis due à la rotation de la Terre dévie les alizés vers le pôle et provoque l'enroulement en spirale des masses d'air. Un tourbillon atmosphérique engendre une zone de basse pression où l'air afflue de toutes parts en se chargeant de l'humidité due à l'évaporation des eaux chaudes de surface. L'air chaud et humide monte dans l'atmosphère et la condensation de la vapeur d'eau en altitude libère la chaleur prélevée à l'océan. Si la surface océanique est suffisamment chaude, le tourbillon initial s'amplifie jusqu'à devenir un ouragan.

## Puissance de l'énergie libérée

La quantité de pluie qui tombe durant l'épisode cyclonique permet d'estimer la masse d'eau évaporée et donc l'énergie libérée par sa condensation. Sans surprise, on aboutit à un ordre de grandeur énorme : en une journée, un ouragan dispose d'une énergie équivalente à cinq ans de la consommation énergétique française. Mais seule une petite fraction de cette énergie – environ 0,5% – alimente les vents horizontaux de l'ouragan, l'essentiel étant utilisé pour produire les mouvements d'air ascendants. Une journée de l'énergie des vents destructeurs de l'ouragan est donc équivalente à une dizaine de jours de consommation énergétique française.

Si les conséquences de l'action humaine ne sont pas aussi brutales que celles d'un ouragan, c'est que nous utilisons notre énergie à un rythme plus lent. Le débit d'énergie, la puissance, disent les physiciens, permet de quantifier la facilité de l'accès à un réservoir d'énergie : une grande puissance est associée à un accès rapide. Dire que l'énergie nécessaire à alimenter une journée de vents cycloniques est équivalente à dix jours de consommation énergétique française revient à dire que la puissance de ces vents est 10 fois supérieure à la puissance utilisée par notre pays.

Cette comparaison se transpose à d'autres phénomènes naturels. Ainsi, l'énergie consommée annuellement en France représente environ 300 fois l'énergie libérée par le fort séisme qui a frappé le Mexique le 7 septembre. Si cet événement a aussi produit des dégâts considérables, c'est parce que son énergie a été libérée en seulement quelques secondes : sa puissance a donc été très largement supérieure à celle produite par la France entière. A plus petite échelle, la rouille est une réaction chimique de même nature qu'une explosion. Ce qui les différencie est la durée de libération de l'énergie due à l'oxydation : des mois pour la rouille, une fraction de seconde pour une explosion.

Du point de vue énergétique, la France, et a fortiori l'humanité entière, rivalise avec les plus intenses « forces » de la nature. Mais ne considérer que l'énergie mise en jeu pour évaluer leurs conséquences n'est pas suffisant. Il faut aussi tenir compte de la durée de libération de cette énergie et donc de la puissance associée. Si l'on considère que les grandes catastrophes naturelles sont des « explosions » qui frappent la biosphère, alors l'action de l'humanité est une forme de rouille qui ronge la Terre lentement, mais sûrement. ■

**Roland Lehoucq**  
Astrophysicien,  
Commissariat à l'énergie atomique  
et aux énergies alternatives  
PHOTO: PHILIPPE STROPPA

La stigmatisation de la schizophrénie,  
une double peine pour les malades

**TRIBUNE** - Pour Nicolas Rainteau, interne en psychiatrie, il est urgent de lutter collectivement contre les stéréotypes associés à cette maladie, qui empoisonnent les patients et leur famille

Le philosophe américain Henry David Thoreau a écrit : « Peut-il exister de plus grand miracle que celui qui nous permettrait, l'espace d'un instant, de nous regarder avec les yeux d'un autre ? » Pour les patients atteints de schizophrénie, se regarder à travers les yeux de la société relève plutôt du cauchemar. De nombreuses études se sont intéressées aux représentations dans la population en général des personnes atteintes de schizophrénie.

De manière désastreuse, elles sont associées aux stéréotypes les plus négatifs, sont considérées comme moins susceptibles d'évoluer vers la guérison et comme plus dangereuses et imprévisibles en comparaison des patients souffrant d'autres troubles mentaux. La majorité des individus interrogés persiste à penser que les personnes schizophrènes souffrent d'un dédoublement de la personnalité ou de personnalités multiples. En réalité, cette maladie se caractérise par un ensemble de symptômes fluctuants et rarement présents de façon simultanée (comme des idées délirantes, une désorganisation de la pensée, un manque d'énergie).

Voilà les conséquences directes d'années d'informations partielles, tronquées, voire fausses, de « unes » racolées et d'utilisation du mot schizophrénie à tort et à travers jusque dans les plus hautes sphères de notre société. Et il faut bien l'admettre, une certaine friolité de nous, psychiatres, à exporter des informations claires et précises au-delà des murs des hôpitaux.

En pratique, ces croyances erronées ont de multiples répercussions au quo-

tidien. Tout d'abord, on note une volonté de la part de la société de mettre à distance sociale des patients atteints de schizophrénie. Ce que l'on appelle « stigmatisation publique » engendre d'énormes difficultés pour les patients pour trouver un travail ou un logement, pour créer des relations amicales ou amoureuses, ou encore pour accéder aux soins somatiques mais aussi psychiatriques. Par exemple, quand un psychiatre pose le diagnostic de schizophrénie, il n'est pas rare qu'un patient qui a lu ou entendu qu'être schizophrène c'est être « un barjot, un terroriste, un assassin » réponde : « Je ne peux pas être schizophrène, je ne veux tuer personne et je ne me dédouble pas. »

La puissance des stéréotypes prend alors le dessus sur les explications médicales et éloigne le patient des soins. Cette stigmatisation publique ajoute véritablement de l'isolement à l'isolement. Ensuite vient l'« autostigmatisation », qui est l'internalisation de la stigmatisation publique par les patients. En d'autres termes, ce que la société pense d'eux, les patients finissent par le penser aussi. Il existe par exemple la croyance forte (et fautive) que les personnes atteintes d'un trouble mental sont incompetentes. Et de ce fait il arrive que les patients finissent par vraiment penser qu'ils sont incompetents et n'envisagent plus de travailler. Ici, des limites s'ajoutent à d'autres limites.

Pour les personnes atteintes de schizophrénie, la stigmatisation est presque une deuxième maladie dont les conséquences pourraient dépasser celles des symptômes de la maladie elle-

CE COMBAT  
CONTRE L'UTILISATION  
ERRONÉE DU MOT  
SCHIZOPHRÉNIE  
EST UN SOIN, COMME  
L'EST UN MÉDICAMENT

même. Les familles et les proches des patients ne sont eux aussi pas épargnés par la stigmatisation. On appelle « stigmatisation de courtoisie » les attitudes négatives vécues par l'entourage des personnes présentant une maladie mentale. En effet, il arrive que les familles ayant un membre atteint de schizophrénie soient rejetées par leur entourage et souffrent de cet isolement, ce qui entraîne parfois une attitude d'évitement des relations sociales, l'apparition de perturbations psychiques voire organiques chez les membres de la famille, ou encore l'émergence de conflits intrafamiliaux. Afin d'illustrer cette stigmatisation de courtoisie, on pourra décrire cette « fameuse » invitation qui s'annule mystérieusement quand les parents précisent qu'ils viendront avec leur enfant atteint de schizophrénie.

Ce combat contre l'utilisation erronée du mot schizophrénie n'est pas un effet de style ou une recherche du politiquement correct. Ce combat, c'est un soin, c'est une prise en charge, au même titre que peut l'être un médicament ou une consultation. Une étude menée dans notre service souligne l'urgence de la

situation. En effet, à travers un protocole expérimental, nous avons montré que le simple fait de lire le mot schizophrénie sur un écran d'ordinateur modifiait de manière négative le comportement d'un individu. Pis encore, cette modification de comportement semble complètement inconsciente, et donc de ce fait non maîtrisable. Voilà comment des années de mésusage du mot schizophrénie ont engendré des réactions de rejet à sa simple évocation.

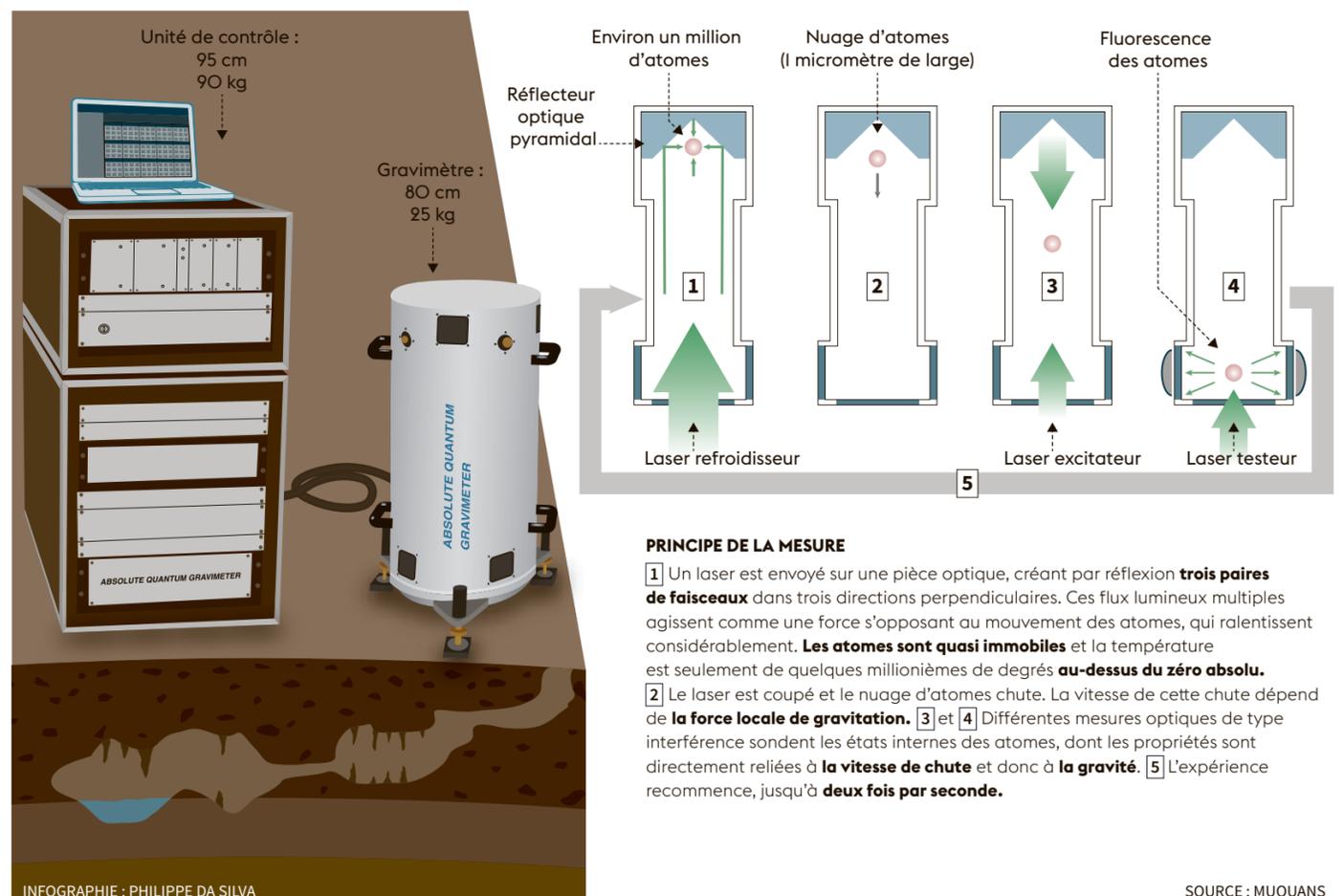
Le mot « schizophrénie » est dérivé du grec *skhizein* (« scinder ou fendre ») et *phrên* (« esprit ou âme »). Certains pays ont fait le choix de le modifier : ainsi, au Japon, au lieu de parler de *seishin bunretsu byo* (« esprit divisé »), on dit maintenant qu'une personne est atteinte de *togo-shitcho sho* (« trouble de l'intégration »). Mais le combat contre la stigmatisation va bien au-delà.

Une prise de conscience générale est donc nécessaire. Elle s'applique tout d'abord à nous, psychiatres. Il est primordial que nous soyons en première ligne dans ce combat, que ce soit dans nos pratiques ou dans notre investissement aux côtés de ceux qui luttent déjà avec acharnement. C'est aussi le combat des médias car dans ce monde qui est le nôtre, nos explications médicales et scientifiques ne sont qu'un murmure face à la multiplication des moyens de communication. Travaillons ensemble, car, comme le disait Albert Camus, « mal nommer les choses, c'est ajouter au malheur du monde ». ■

**Nicolas Rainteau**, interne en psychiatrie au CHU de Montpellier

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 ATOMES FROIDS POUR SONDER LE SOUS-SOL



Les géologues, volcanologues et autres prospecteurs peuvent désormais s'équiper d'un instrument unique au monde de mesure de la force de gravité locale. Et ainsi « voir » sous leurs pieds une nappe phréatique, une cheminée

de lave ou un gisement... car l'hétérogénéité du sous-sol induit de faibles variations de la gravité. Le gravimètre conçu par la start-up française Muquans, créée en 2011, étudie la chute libre d'un petit nuage d'atomes très

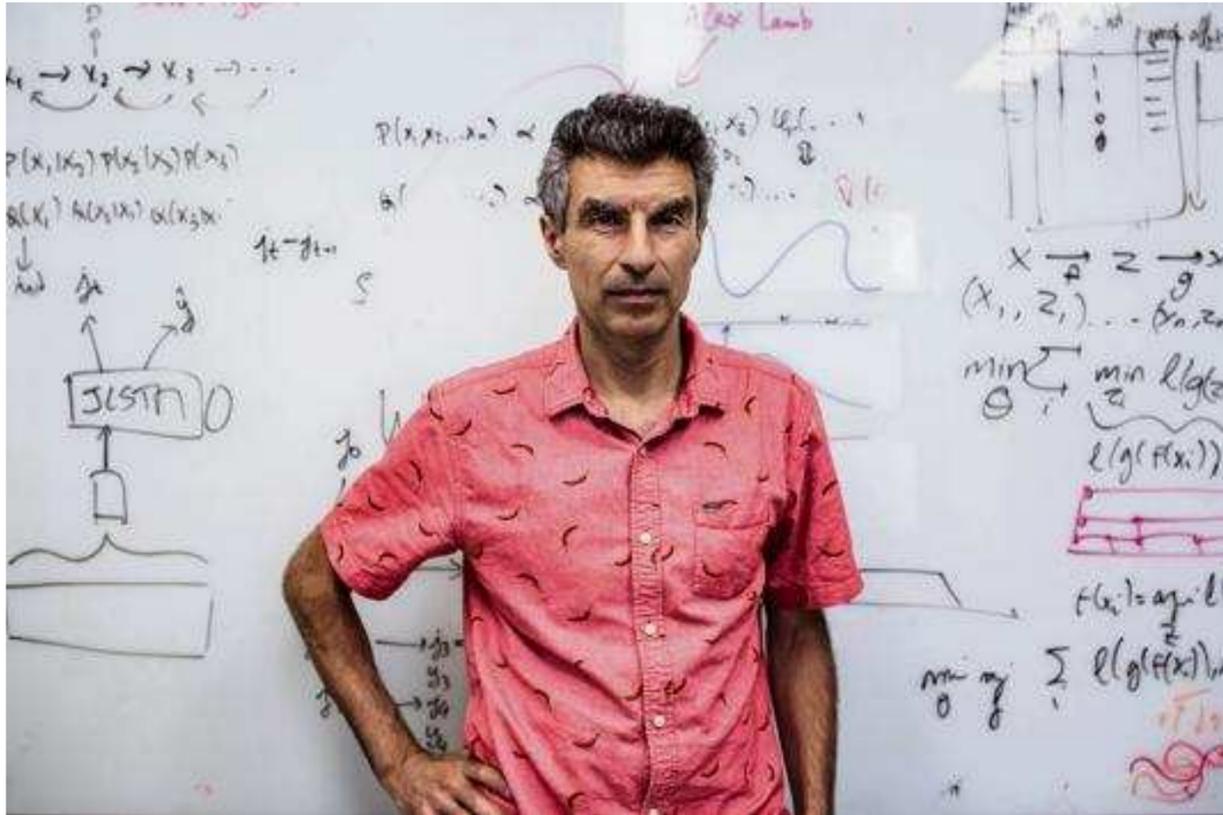
froids (à moins de -273 °C) afin d'en déduire l'attraction locale. Les gravimètres actuels utilisent des ressorts ou des chutes de corps plus volumineux et sont moins stables dans le temps. La gravitation peut être connue au mil-

liardième près, permettant de sentir la Lune tourner ou de repérer une masse de 100 kg sous un mètre de terre. L'entreprise est issue de deux laboratoires du CNRS, à Paris et Bordeaux. ■

DAVID LAROUSSIERE

# Yoshua Bengio, franc-tireur convoité de l'intelligence artificielle

**PORTRAIT** - Précurseur des réseaux de neurones artificiels, cet informaticien vedette résiste aux sirènes des géants du numérique. Et les convainc plutôt de s'installer à Montréal



Yoshua Bengio, à l'université de Montréal, le 27 juillet. MIKAEL THEIMER

Vendredi 15 septembre, à Montréal, Yoshua Bengio a le sourire. Facebook vient d'annoncer l'ouverture de la quatrième antenne de son laboratoire d'intelligence artificielle (Facebook Artificial Intelligence Research, FAIR), après Menlo Park (Californie), New York et Paris. Mais Yoshua Bengio, contrairement à son confrère et ami Yann LeCun, qui dirige FAIR, n'est pas salarié de Facebook. Il est même l'une des dernières vedettes du domaine à avoir résisté aux sirènes des géants de l'informatique, Facebook, Google, Microsoft, Apple, Baidu...

A Paris, où il était de passage fin août et participait à une école d'été de science des données, organisée par l'École polytechnique, il souriait aussi sur les selfies demandés par des étudiants venus écouter ses quatre exposés. A la cafétéria, il sourit encore à l'idée qu'il aurait pu avoir deux zéros de plus sur son salaire annuel en acceptant les propositions des géants du numérique. « Je reste à l'université pour des raisons morales car j'aime travailler pour le bien public. J'apprécie aussi l'interaction avec les étudiants et j'ai conscience qu'il faut éduquer les prochaines générations », explique le chercheur. Il admet cependant volontiers donner des conseils aux entreprises du numérique, tout en les engageant à ne pas tuer la poule aux œufs d'or en privant l'université de ses enseignants.

A 53 ans, il est le plus jeune des trois mousquetaires qui ont contribué à développer une technologie d'apprentissage automatique, désormais omniprésente au point de se confondre avec la notion d'intelligence artificielle (IA). Elle sert maintenant à la reconnaissance vocale dans les téléphones ou les assistants vocaux. Elle bat les humains au jeu de go. Elle conduit des voitures. Elle crée des tableaux de maître, joue de la musique, imite des voix, traduit dans toutes les langues...

## Du temps pour s'imposer

Mais avec le Britannique Geoffrey Hinton, de l'université de Toronto (et à mi-temps chez Google désormais) et le Français Yann LeCun à l'université de New York, Yoshua Bengio n'a pas toujours eu le sourire. Il a vécu une longue traversée du désert. Les méthodes – basées sur les réseaux de neurones et inspirées par le fonctionnement du cerveau – qu'ils ont développées ensemble ou indépendamment pendant les années 1990 ont mis du temps à s'imposer. « A cette époque, on était limité par les puissances de calcul », se souvient celui qui, avec son frère Sammy, qui travaille pour Google, bricolait depuis son enfance des ordinateurs. Cette contrainte matérielle explique en partie le désamour pour cette technique jusqu'au début des années 2010.

« En 2005, nous étions sans doute 3, 4 groupes dans le monde à continuer à croire aux réseaux de neurones artificiels », se souvient le chercheur. Le trio se connaît bien puisque LeCun a été notamment postdoc de Geoffrey Hinton, avant d'accueillir Bengio comme postdoc au sein des laboratoires de l'entreprise Bell. En 2006, presque en même temps, ils publient indépendamment des articles montrant comment entraîner des réseaux de neurones, c'est-à-dire comment leur apprendre, à partir d'exemples, à reconnaître des caractères ou des images notamment.

« Durant cette période, les éditeurs de journaux refusaient les articles sur les réseaux de neurones. Il a fallu les convaincre qu'ils avaient tort. » Cela a pris du temps et coûté de l'argent. En 2007, le trio, autoproclamé conspirationniste, organise à Vancouver une mini-conférence non autorisée lors d'une conférence en informatique réputée, Neural Information Processing Systems. Des bus, financés par une bourse de l'Institut canadien de recherches avancées, conduisent les participants jusqu'à la salle de cette réunion hors programme. « Nous avons montré que faire apprendre à ces réseaux était possible. Ça a été un succès et ça a lancé le domaine », se souvient Yoshua Bengio.

Cinq ans plus tard, l'équipe d'Hinton, grâce aux réseaux de neurones et à des ordinateurs devenus plus puissants, lamine ses concurrents à une compétition de reconnaissance d'images. Le succès ne se dément plus. L'article le plus connu de Yoshua Bengio, paru en 1998 et cosigné avec Yann LeCun, est cité plus de 4600 fois ; score qui augmente chaque semaine d'une vingtaine d'unités. Fin 2015, le trio cosigne un article dans *Nature*, qui atteint déjà plus de 1600 citations selon Scopus, la base de données de l'éditeur Elsevier. Le chercheur aux plus de 200 articles est resté à la pointe des récents progrès dans le domaine, notamment grâce à des percées en reconnaissance vocale ou en traduction automatique. « Yoshua est un bourreau de travail, appuie Yann LeCun. J'étais dans son jury de master sur la reconnaissance de la parole avec réseaux neuronaux et il était étonnamment en avance sur son temps. »

Bref, le chercheur canadien, d'origine marocaine et né à Paris, est définitivement sorti du désert et transforme maintenant Montréal en oasis de l'intelligence artificielle. Son laboratoire, le Montreal Institute for Learning Algorithms, appartenant aux deux universités phare de la ville, l'université McGill et l'université de Montréal, compte deux cents chercheurs environ. « la plus grande concentration académique au monde », selon Yoshua Bengio. Depuis le master jusqu'aux postdocs, il a une vingtaine de places à offrir et reçoit 700 demandes. En 2018, de nouveaux locaux consacreront cette position centrale.

« J'ai été surpris de voir à quel point il était très disponible, témoigne Thomas Mesnard, normalien qui a déjà fait six mois de stage chez Yoshua Bengio et s'apprête à y retourner. Même en tant que stagiaire, j'étais inclus dans l'équipe, et je l'ai vu mettre plusieurs fois les mains dans le cambouis. Mes copains étaient jaloux car leur stage ne se passait pas comme ça ! » Résultat, trois articles tirés de ce passage. « J'aime bien les réunions de groupe car de la confrontation naissent les idées. Mais, lorsque la poussière retombe, d'autres idées peuvent apparaître », précise le chercheur, qui fait retomber ladite poussière en se levant tôt le matin ou en marchant pendant trente minutes entre son domicile et son laboratoire.

## Facebook, IBM, Google...

Si Bengio ne va pas à Facebook ou Google, ces derniers viennent à lui. Facebook, IBM, Google ou Nvidia, fabricant de cartes graphiques qui propulsent les algorithmes neuronaux, installent des laboratoires à Montréal. Une start-up, Element AI, qu'il a cofondée, a levé plus de 100 millions de dollars en juin. « J'avais déjà de l'expérience, en ayant créé en 2002 Apstat Technologies, hélas bien trop tôt », dit, encore en souriant, le chercheur, qui en juillet a été décoré de l'ordre du Canada.

Comme tout va vite en intelligence artificielle, les controverses nichées entre les promesses d'applications innovantes et les craintes de catastrophes causées par ces super-intelligences sont déjà là. Yoshua Bengio désamorce vite les critiques. « Les commerciaux exagèrent en parlant d'intelligence artificielle presque humaine. Nos algorithmes ont l'intelligence d'un enfant de 2 ans ! » Ce qui ne l'empêche pas de travailler à les faire grandir, notamment en imaginant des techniques d'apprentissage non supervisé, c'est-à-dire sans donner d'exemples à la machine. « Les humains y arrivent, alors on devrait y arriver, soit grâce aux neurosciences, soit grâce à l'intelligence artificielle. » Il apprécie d'ailleurs les allers-retours fructueux entre ces deux disciplines, qui lui rappellent les romans de science-fiction qui lisait adolescent.

Sa crainte est ailleurs, « que les développements de l'IA ne servent les bénéfices que d'un petit nombre. La conjugaison de données massives, de concentration de matière grise, de puissance de calcul... donne du pouvoir, décrit-il. Le risque est que la richesse et ce pouvoir soient seulement entre quelques mains ». D'où son engagement pour des projets en santé ou même humanitaires pour lesquels les réseaux de neurones pourraient aider à trouver des solutions, notamment en analysant des images. Yann LeCun le confirme, « Yoshua est très humain, motivé par le bien commun et des aspirations humanistes ». Et en plus, avec le sourire. ■

DAVID LAROUSSIERE



## ZOOLOGIE

### Coasse toujours, tu m'intéresses

Le monde des grenouilles n'en finit pas de nous surprendre. Vigie du changement climatique, en première ligne de l'extinction massive en cours, il n'en révèle pas moins, chaque année, des richesses insoupçonnées. Prenez les *Brachycephalus*. Longtemps – depuis 1905 et la découverte du premier de ces minuscules amphibiens dans la forêt atlantique brésilienne –, les scientifiques les ont crus uniques. Mais aujourd'hui le genre compte une trentaine d'espèces. Toutes différentes, souvent propres à une unique vallée montagneuse, elles partagent cependant de nombreuses caractéristiques : une taille minuscule (de 0,7 cm à 1,5 cm), la vivacité de leur couleur (rouge à orangé) et le poison qui recouvre leur peau.

Elles affichent d'autres traits communs, beaucoup plus rares. Il y a ce que les spécialistes nomment le « développement direct ». Plutôt que de pondre 200 œufs qui donneront autant de têtards, les femelles limitent leurs œufs à quelques unités (de deux à cinq) dont sortent... des grenouilles. Il y a ces plaques ossifiées, sur le dos et le crâne, dont on ignore pour l'heure l'utilité.

Enfin, il y a les douces vocalisations. Une équipe internationale regroupant cinq laboratoires vient de montrer, dans la revue *Scientific Reports*, que ces appels désespérés des mâles, à la saison des amours, les femelles ne les entendent pas. Les scientifiques l'ont vérifié en passant à ces dernières des enregistrements. Sans réaction. Peut-être boudaient-elles ? La Française Sandra Goutte, alors à l'université de Campinas (Brésil), et ses collègues danois et britanniques ont conduit des examens physiologiques et morphologiques et conclu que l'animal était dépourvu de l'oreille moyenne, celle qui permet d'entendre les hautes fréquences. D'autres grenouilles vivent sans cet organe, mais leurs cris sont plus graves. « Les nôtres chantent à 4 kHz alors qu'elles n'entendent rien au-dessus de 1,2 kHz », explique Sandra Goutte.

Pourquoi alors prendre le risque d'attirer prédateurs et parasites si l'âme sœur reste sourde à vos appels ? « En réalité, il leur reste un vestige de l'oreille moyenne, poursuit la chercheuse. Mais elles en ont perdu l'usage car leur communication est visuelle. Elles ont conservé le chant car il s'accompagne d'une posture et d'un mouvement de la gorge qu'elles doivent repérer. Un chant beaucoup plus faible que celui des autres grenouilles. Sans doute est-il lui aussi en train de disparaître. »



Grenouille « Brachycephalus ». SANDRA GOUTTE

Sourde à son chant, donc. Et insensible à son propre poison. Si Sandra Goutte et ses collègues n'ont pas étudié ce dernier point, une équipe américaine s'y est attelée. Près de trois cents espèces de grenouilles tropicales transformées ainsi certains éléments de leur alimentation en répulsifs plus ou moins dangereux. Quatre d'entre elles, de la famille des *Dendrobatidae*, ont frappé fort : l'effet analgésique de l'épipibatidine qu'elles produisent est réputé deux cents fois plus puissant que celui de la morphine. Mortel, en somme. Les prédateurs restent à distance mais quid des partenaires ? Dans un article publié dans *Science*, Rebecca Tarvin, Cecilia Borghese et leurs collègues de l'université d'Austin, au Texas, ont encore pimenté l'équation : ils ont en effet constaté que le poison s'attaquait au même récepteur que l'acétylcholine, un neurotransmetteur essentiel dans le développement cérébral. Comment alors se protéger de l'un sans se priver de l'autre ?

« Pour résoudre ce problème complexe, l'évolution a trouvé une solution sophistiquée », constate Cecilia Borghese : le barrage filtrant. Une première mutation génétique, remplaçant un acide aminé dans une protéine, a permis d'apporter la résistance au poison, bloquant au passage l'acétylcholine. Un blocage levé par la suite, lors de nouvelles modifications, différentes selon les quatre espèces. Les chercheurs américains rêvent d'en trouver une application thérapeutique. Mais ils restent discrets : les grenouilles pourraient les entendre. ■

NATHANIEL HERZBERG