

BIBLIOGRAPHIE

C. D. Sago et al., **High-throughput in vivo screen of functional mRNA delivery identifies nanoparticles for endothelial cell gene editing**, *PNAS*, vol. 115(42), pp. E9944-E9952, 2018.

F. Schmidt et al., **Transcriptional recording by CRISPR spacer acquisition from RNA**, *Nature*, vol. 562, pp. 380-385, 2018.

S. L. Shipman et al., **CRISPR-Cas encoding of a digital movie into the genomes of a population of living bacteria**, *Nature*, vol. 547, pp. 345-349, 2017.

G. M. Church et al., **Next-generation digital information storage in DNA**, *Science*, vol. 337, p. 1628, 2012.

Ces limites ne sont pas les seules considérations à prendre en compte. La banalisation du séquençage aura des répercussions sur le quotidien: tracer des personnes deviendra plus facile et de nouvelles vulnérabilités quant à la sécurité des données feront leur apparition. Les exemples d'atteinte à la vie privée sont déjà légion. Aux États-Unis, le séquençage de l'ADN est utilisé par les départements de police avec peu de vigilance. Lorsqu'elle enregistre l'ADN de personnes en état d'arrestation, même pour des crimes mineurs, la police enrichit de vastes banques de données génétiques. Cette procédure est considérée par certains comme l'équivalent moderne des empreintes digitales. Pourtant, il y a une différence majeure: les empreintes digitales n'identifient qu'un seul individu. En revanche, si une personne fournit son ADN, elle fournit une information qui peut permettre d'identifier n'importe quel membre de sa famille. En Chine, sous le couvert d'un programme de santé, des agents ont rassemblé des informations génétiques concernant près de 36 millions de personnes sans que l'on ne connaisse l'usage que le gouvernement en fera. Or cette population compte notamment de nombreux Ouïgours, les membres d'un groupe ethnique musulman victime de discriminations...

Jusqu'à aujourd'hui, les principales préoccupations sur le stockage d'informations génétiques concernaient le patrimoine individuel et la protection de l'identité. Mais dans le futur, si des informations comme des données de santé, des contrats légaux et d'autres histoires individuelles sont stockées dans de l'ADN, cela soulèvera de nombreuses questions en termes de sécurité physique des données et de cybersécurité. Des quantités si importantes d'informations rentreront dans un espace si petit: comment distribuer les données pour éviter qu'elles soient concentrées en un seul endroit? Et même si l'extraction devient plus simple, comment accèdera-t-on puis stockera-t-on à nouveau les données sans les exposer à des piratages malveillants ou à des pertes accidentelles?

L'ampleur du travail scientifique et éthique à accomplir me décourage parfois. Je pense alors aux frères Wright. Leur premier vol a duré 12 secondes, durant lesquelles ils ont parcouru 37 mètres. Soixante-six ans plus tard, les humains ont posé le pied sur la Lune. Ces exploits me laissent espérer que nous saurons exploiter le potentiel de l'ADN au cours des prochaines décennies et mettre tout en œuvre pour que ce potentiel soit mis au service du bien commun. ■

RENCONTRES

Samedi 5 octobre – 15h

PoulpeFiction – Chronique d'une intelligence hors du commun

Dans le cadre de l'exposition *Océan, une plongée insolite* à la Grande Galerie de l'Évolution

Avec : **Laure Bonnaud-Ponticelli**, Biologiste, enseignante-chercheuse, spécialiste des céphalopodes, Muséum et **Aline Richard Zivohlava**, Journaliste scientifique pour le site The Conversation France, auteure de *Dans la peau des bêtes* paru aux éditions Plon (2019).

Dès 8 ans - sur inscription : jardindesplantesdeparis.fr

Rotonde de la Ménagerie

Ménagerie, zoo du Jardin des Plantes - Paris 5°

Lundi 7 octobre – 19h

L'agroécologie en pratique : trajectoires et expériences d'agriculteurs.trices

Modératrice : **Margaux Alarcon**, doctorante, Muséum

Avec : **Marie Françoise Bizard-Pasquet**, agricultrice gérante et membre de l'Académie d'Agriculture, **Kevin Morel**, ingénieur agronome, AgroParisTech Paris, **Véronique Lucas**, sociologue et agroécologue, INRA Montpellier

Lundi 14 octobre – 19h

De l'océan à l'assiette

Modérateur : **Christophe Lavelle**, biophysicien, commissaire de l'exposition *Je mange donc je suis* du Musée de l'Homme

Avec : **Guy Duhamel**, ichtyologue, Muséum, **Laurent Nicolle**, armateur, Groupe Le Garrec, **Elisabeth Vallet**, directrice Éthique Océan, **Julien Dumas**, chef du Lucas Carton, Paris

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution

36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5°

LES { Partagez les savoirs }
RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur jardindesplantesdeparis.fr

POUR LA
SCIENCE



L'ESSENTIEL

> Ces dernières années, un grand nombre d'études de psychologie ont échoué à répliquer les résultats de recherches précédentes.

> Une crise en a découlé, mais ces échecs sont aussi le signe que la psychologie s'est résolument engagée dans la voie de l'autocorrection.

> Loin d'en être affaiblie, elle en sort donc renforcée. D'autant plus que les effets classiques, corroborés par tout un faisceau d'études, tiennent bon.

L'AUTEUR



FRANÇOIS MAQUESTIAUX
professeur de psychologie cognitive
à l'université de Franche-Comté,
à Besançon, et membre de l'institut
universitaire de France

Le grand ménage de la psychologie

Non, vous ne vivrez pas plus longtemps si vous souriez sur les photographies.

Non, tenir un crayon entre les dents ne modifie pas votre jugement...

Nombre de conclusions d'études menées en psychologie doivent être soumises à un examen plus approfondi. Depuis quelques années, les chercheurs de cette discipline s'y attendent.

«**L**a plupart des résultats scientifiques publiés sont faux»: tel est le titre provocateur d'un article publié en 2005 par John Ioannidis, professeur de médecine à l'université Stanford, aux États-Unis. De fait, plusieurs cas de fraude seront découverts par la suite: quelques années après le cri d'alarme de John Ioannidis, le psychologue néerlandais Diederik Stapel sera par exemple radié de l'université de Tilburg, à l'âge de 45 ans, pour avoir inventé ou trafiqué les résultats de 55 de ses 137 publications scientifiques. Mais le problème dépasse largement ces tricheries manifestes. Il porte sur la nature et l'organisation même de la recherche dans plusieurs disciplines, qui entraînent la publication de nombreux «faux positifs» – des travaux qui semblent démontrer un phénomène, mais de façon illusoire (voir l'encadré page 48).

Si la question concerne toutes les disciplines expérimentales, les projecteurs se sont braqués sur la psychologie en 2015, avec la parution dans la revue *Science* d'une étude de

grande ampleur, associant 270 chercheurs et visant à reproduire 100 expériences. Les résultats étaient alarmants: seulement 36% des répliques menées ont confirmé les résultats originaux. Dès 1935, le philosophe viennois Karl Popper soulignait que la reproductibilité d'une découverte est le gage de sa qualité scientifique; cette étude a donc déclenché un tsunami: la psychologie serait-elle une pseudoscience? Les deux tiers de ses résultats seraient-ils à jeter à la poubelle?

UNE CURE DE RÉPLICATION EST LANCÉE

En réalité, ce qui pouvait passer pour une catastrophe est une excellente nouvelle, puisque la psychologie est l'une des rares disciplines à s'être engagée dans la voie de l'autocorrection. Depuis un peu moins d'une dizaine d'années, une véritable cure de réplique a été lancée, afin de vérifier les effets allégués par un certain nombre de travaux. Il s'agit de reproduire les études originales à l'identique (même matériel, mêmes tâches, même environnement) ou avec de légères adaptations. ➤



> De nombreux laboratoires se sont lancés dans l'aventure, soit seuls, soit en s'associant pour multiplier les reproductions d'une même expérience. Auparavant réticentes à publier ces études de réplication, des revues de premier plan, comme *Psychological Science*, ont créé des rubriques spéciales qui leur sont destinées. Ainsi, entre 2013 et 2017, la proportion des publications scientifiques qui portent sur le thème de la réplication a augmenté de 50% dans les revues de psychologie, comme l'ont montré David Huber et ses collègues de l'université du Massachusetts, en passant en revue les bases de données qui répertorient ces publications.

Où en sommes-nous, moins d'une décennie après? Il y a eu inévitablement une forme d'hécatombe. Dana Carney, de l'université Columbia, et ses collègues sont au nombre des victimes. En 2010, ces chercheurs avaient trouvé qu'une posture victorieuse – le *power posing*, qui consiste à se tenir debout bras en V levés vers le ciel – rend effectivement plus conquérant: cette posture augmenterait le taux de testostérone (l'hormone associée au pouvoir), diminuerait le taux de cortisol (l'hormone associée au stress) et accroîtrait le sentiment de puissance et la tolérance au risque. Mais cinq ans plus tard, Eva Ranehill, de l'université de Zurich, et ses collègues ont reproduit l'étude auprès d'un échantillon nettement plus grand de participants (200 au lieu de 42 dans l'étude originale). Cette fois pour conclure à une absence de résultat.

64%

DES TENTATIVES DE RÉPLICATION

effectuées sur une sélection de 100 études publiées dans trois revues de psychologie n'ont pas retrouvé les résultats originaux. Ce vaste travail de réplication a été réalisé par Open Science Collaboration, un collectif regroupant un grand nombre de chercheurs, et publié en 2015 (B. A. Nosek *et al.*, «Estimating the reproducibility of psychological science», *Science*, vol. 349, aac7416, 2015).

De nombreux travaux amusants ou étonnants de ce type ont fait l'objet de tentatives de réplication, qui ont souvent porté sur les découvertes les plus en vue, celles que l'on pourrait qualifier de «trop belles pour être vraies». Au final, c'est un inventaire à la Prévert qui s'en va rejoindre les cimetières de la science.

Des chercheurs avaient ainsi «prouvé» les faits suivants: on évalue la pente d'une colline comme plus inclinée de 13 degrés quand on pense à un lourd secret (parce qu'on se sent écrasé), on juge une image plus amusante quand on tient un crayon entre les dents (parce qu'on est forcé à sourire et que cela nous influence en retour), on améliore ses performances au Trivial poursuit en pensant à un professeur plutôt qu'à un hooligan (parce qu'on active un stéréotype associé à l'intelligence), les gens qui sourient sincèrement sur les photographies vivent plus longtemps (ce serait le signe d'une tendance à éprouver des émotions positives et à bien résister au stress, d'où des conséquences positives sur la santé)... Or les expériences de réplication menées au cours des huit dernières années ont invalidé toutes ces «découvertes».

UNE PLUS GRANDE PUISSANCE STATISTIQUE

Fait important: ces expériences avaient plus de puissance statistique que les études originales. Elles ont effectué leurs tests sur beaucoup plus de participants et ont parfois regroupé plusieurs équipes, qui ont uni leurs ressources et

VICTIMES ET SURVIVANTS

Les expériences de réplication récentes ont invalidé de multiples résultats en psychologie... mais en ont confirmé bien d'autres ! Voici quelques exemples.



LE SOURIRE PRÉDIT LA LONGÉVITÉ

L'étude originelle: En 2010, les psychologues américains Ernest Abel et Michael Kurger analysent les photographies d'anciens joueurs de baseball, examinent leur date de décès et concluent que ceux qui souriaient ont vécu plus longtemps.

La réplication: En 2018, Michael Dufner, de l'université de Leipzig, reproduit l'étude en élargissant considérablement le nombre de photographies analysées. Il ne trouve aucun lien entre la longévité et le sourire.



UN CRAYON CHANGE LE JUGEMENT

L'étude originelle: En 1988, l'équipe du psychologue allemand Fritz Strack montre qu'on juge une image plus amusante lorsqu'on tient un crayon dans la bouche, car cela nous force à sourire.

La réplication: En 2016, 17 laboratoires et 55 chercheurs s'associent pour reproduire l'expérience. Aucun ne trouve d'effet du crayon dans la bouche.



LES MOTS FONT DE L'OMBRE AUX IMAGES

L'étude originelle: en 1990, Jonathan Schooler et Tonya Engstler-Schooler montrent que lorsqu'on a aperçu le visage d'un cambrioleur, on peine davantage à le reconnaître parmi une série de portraits si on a d'abord essayé de le décrire par des mots. La description verbale perturberait le souvenir visuel du visage.

La réplication: en 2014, 90 chercheurs issus de 33 laboratoires différents reproduisent l'expérience et confirment la réalité de cet effet d'ombrage.

DES ERREURS EN SCIENCE, POURQUOI ?

Médecine, psychologie, génétique, neurosciences, économie... Dans bien des domaines, les erreurs scientifiques abondent. Pourquoi avons-nous tant de mal à les éviter ? Dans un article publié en 2005 dans la revue *PLoS Medicine* et abondamment commenté par la communauté scientifique, John Ioannidis, de l'université Stanford, avance trois raisons.

La première est inhérente à la science : il n'y a pas de vérité absolue et toute conclusion est énoncée moyennant un certain risque de se tromper, qu'on cherche à rendre le plus petit possible. Par convention, ce risque d'erreurs acceptable oscille entre 1 et 5 % (il est généralement fixé à 5 % en psychologie). Si une étude concluait que l'adoption d'une posture à la Usain Bolt accroît le taux de testostérone, il y aurait donc 5 % de chances qu'elle se trompe et que ce qu'elle a observé soit le fruit du hasard. C'est le principe du faux positif.

La deuxième raison est un biais de publication, les revues favorisant à outrance les recherches qui ont montré l'existence d'un effet donné. L'absence d'effet est pourtant également une information précieuse ! Ce biais peut induire des comportements discutables de la part des scientifiques, comme prendre certaines libertés dans la façon de conduire, d'analyser et de rapporter les résultats d'une recherche ; ou négliger de nombreuses données, à jamais perdues pour la science.

Enfin, la troisième raison a trait au contexte actuel de la recherche scientifique. Tous les scientifiques connaissent l'expression *publish or perish*, littéralement « publier ou périr » : pour décrocher un poste ou des financements, il faut publier le plus possible et le faire dans des revues de préférence influentes. Ce qui incite certains à enjoliver les résultats, voire à en inventer...

leurs efforts afin de répliquer une étude donnée. Cette méthode « multilaboratoire » est en progression depuis 2015. Pour l'étude du stylo dans la bouche, par exemple, ce sont pas moins de 17 laboratoires et 54 chercheurs, coordonnés par Eric-Jan Wagenmakers, de l'université d'Amsterdam, qui se sont associés ! Dix-sept laboratoires, 17 réplifications directes, mais pas une ne trouve un effet du sourire forcé sur le jugement. La conclusion est autrement convaincante que celle d'une équipe isolée.

Mais ces réplifications ne font pas qu'envoyer des résultats au tapis : elles se révèlent parfois riches d'enseignement – comme d'ailleurs bien d'autres expériences qui échouent à démontrer le phénomène étudié. C'est ce que nous avons constaté lors de travaux autour de la célèbre illusion visuelle d'Ebbinghaus, selon laquelle un même cercle apparaît plus gros lorsqu'il est entouré de petits cercles plutôt que de grands. En 2012, Jessica Witt, de l'université Purdue, et ses collègues avaient reproduit l'illusion sur un tapis de minigolf et montré que lorsqu'on leur faisait paraître le trou plus large, les joueurs réussissaient mieux à y envoyer la balle.

Mais par la suite, plusieurs indices m'ont amené à questionner sa validité. D'une part,

d'autres expériences cherchant à exploiter l'illusion visuelle d'Ebbinghaus – dont une à laquelle j'ai participé – n'y parvenaient pas. D'autre part, en examinant plus en détail l'étude originale, je me suis aperçu que les auteurs avaient exclu les données de 4 des 36 participants et ignoré certaines configurations de l'expérience qui contredisaient leurs conclusions. Cette pratique parfois nommée *p-hacking* est très discutable : elle revient à triturer les données jusqu'à les faire parler dans le sens désiré !

Avec mes collègues Marie Mazerolle et Guillaume Chauvel, nous avons alors reproduit l'expérience sans rien trafiquer (*voir l'encadré page 50*). Les résultats ont montré que les participants percevaient bien l'un des trous comme plus gros, mais que cela n'avait aucune influence sur leurs performances. L'effet de l'illusion d'Ebbinghaus sur le succès au golf semble donc chimérique.

Toutefois, cette réplication avortée nous a permis de trancher une controverse sur le fonctionnement du système visuel, résultant d'un certain nombre d'expériences aux résultats opposés : les voies cérébrales qui permettent la formation d'une image consciente sont-elles dissociées de celles qui assurent le contrôle visuel d'une action ? Nos résultats indiquent que c'est bien le cas, car les participants ne visaient pas mieux le trou même s'ils le percevaient comme plus gros. Pour planifier un acte moteur (le tir au golf), le cerveau se fonde donc sur une représentation visuelle inconsciente du but à atteindre (le trou), qui n'est pas influencée par l'illusion d'Ebbinghaus et qui est donc distincte de l'image consciente.

LA RÉSISTANCE À LA TENTATION DANS L'ENFANCE NE PRÉDIT PAS LA RÉUSSITE

Si les expériences de réplication nous en apprennent beaucoup, c'est aussi parce que les chercheurs en profitent souvent pour introduire des mesures complémentaires, absentes de l'étude originale. Ce fut le cas de Tyler Watts, de l'université de New York, et de ses collaborateurs, qui ont tenté de répliquer le célèbre test du marshmallow. Ce test a été imaginé par le psychologue d'origine autrichienne Walter Mischel dans les années 1970. Le chercheur a laissé des enfants de 4 à 5 ans seuls avec un marshmallow, en leur disant qu'il reviendrait plus tard et leur en donnerait un deuxième s'ils n'avaient pas mangé le premier. Mischel a suivi ces enfants pendant plusieurs décennies et trouvé que ceux qui avaient résisté à la tentation réussissaient mieux dans des domaines variés : école, travail, relations sociales... Ils étaient en outre moins vulnérables aux addictions.

> Avec le temps, cette expérience est devenue un véritable symbole de l'importance de la maîtrise de soi. Dès lors, il y eut un coup de tonnerre quand Tyler Watts et ses collègues publièrent leur étude en 2018 : celle-ci, menée auprès d'un très large échantillon de participants (918 au total) suivis pendant plus d'une décennie, nuancait très fortement les résultats de Mischel. Si le test du marshmallow prédit bien en partie la réussite future, c'est de façon bien plus faible que ne l'a trouvé l'étude originale. Autrement dit, rien n'est fixé à l'âge de 5 ans et de nombreux autres facteurs peuvent moduler les trajectoires individuelles.

Cela ne signifie pas que la maîtrise de soi ne joue aucun rôle. Bien d'autres travaux confirment que cette capacité favorise la réussite. Mais d'une part, elle peut évoluer sensiblement, les facteurs environnementaux ayant une grande influence. Et d'autre part, la mesure procurée par le test du marshmallow serait trop grossière. La maîtrise de soi est une construction psychologique complexe, qui dépend de toute une série de paramètres : le contrôle de ses impulsions, mais aussi la mémoire de travail (pour garder à l'esprit l'objectif à atteindre), la planification, l'attention... En mesurant la capacité à différer une récompense de façon globale, le test du marshmallow n'évaluerait qu'imparfaitement la maîtrise de soi et ne rendrait pas compte de la façon dont ses composantes peuvent interagir, se compenser, s'enrichir...

Les chercheurs ont d'ailleurs mesuré plusieurs d'entre elles chez les enfants, ce qui leur a permis de mieux comprendre leur influence. Ils ont ainsi montré que les différences précoces dans la capacité à maîtriser son attention et son impulsivité n'expliquent qu'une petite partie des variations dans la réussite future. Il est donc capital d'éduquer aussi les autres aptitudes cognitives. Des programmes d'enseignement de la maîtrise de soi sont déjà en phase de test. Nul doute que ces résultats seront précieux pour les affiner.

LES EFFETS CLASSIQUES FONT DE LA RÉSISTANCE

Fort heureusement, les expériences de répliation n'échouent pas toujours. Bon nombre d'entre elles confirment les résultats originaux. C'est ce qui s'est produit dans le cas de «l'ombrage verbal», un phénomène découvert en 1990 par Jonathan Schooler et Tonya Engstler-Schooler, aux États-Unis. Ces chercheurs ont montré qu'après avoir visionné une vidéo simulant un braquage, on peine davantage à reconnaître le visage du cambrioleur quand on a d'abord essayé de le décrire. Cela créerait en effet des représentations verbales du souvenir (une «ombre verbale»), qui viendraient ensuite interférer avec le souvenir initial, encodé dans un

format perceptif. Alors que Jonathan Schooler lui-même peinait à croire à cet effet, une expérience publiée en 2014, à laquelle 33 laboratoires et 90 chercheurs ont pris part, a levé ses doutes : le phénomène d'ombrage verbal est bien réel.

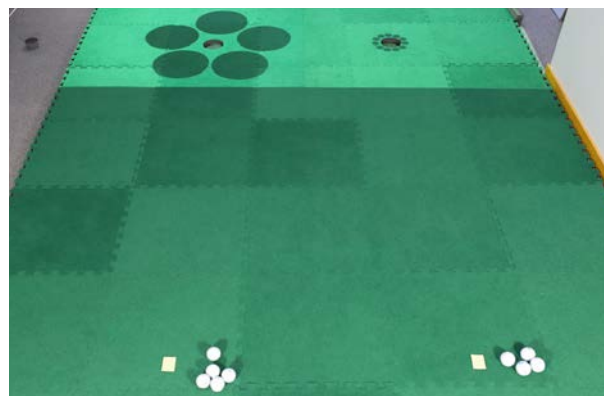
Les effets classiques de la psychologie cognitive, en particulier, tiennent bon. Dans une étude publiée en 2013, Matthew Crump, du Brooklyn College, à New York, et ses collègues ont répliqué un certain nombre d'entre eux, en faisant passer des tests à de nombreux participants grâce à la plateforme web Amazon's Mechanical Turk (AMT). Ils ont ainsi confirmé la réalité des effets d'inhibition, qui stipulent que bloquer nos automatismes et nos habitudes a un coût cognitif. On mesure ce dernier de diverses façons, par exemple grâce au test de Stroop. Ce test consiste à indiquer la couleur de l'encre dans laquelle un nom de couleur est écrit et on constate que le temps de réponse s'allonge nettement lorsque les deux ne correspondent pas (par exemple, le mot «bleu» écrit à l'encre verte), car le cerveau doit alors bloquer la lecture automatique du mot.

Les effets de flexibilité cognitive, selon lesquels alterner entre deux tâches différentes a

DES ÉCHECS INSTRUCTIFS

Parfois, l'échec d'une expérience de répliation est riche d'enseignement. Ce fut le cas lorsque nous avons tenté de reproduire une étude portant sur l'illusion d'Ebbinghaus, selon laquelle un trou apparaît plus grand quand il est entouré de petits cercles plutôt que de grands. Cette étude avait tenté d'exploiter l'illusion en projetant des cercles sur un tapis de minigolf et semblait montrer que les participants parvenaient mieux à viser le trou quand il apparaissait plus gros. Mais lorsque nous avons élaboré une expérience analogue (voir l'image dessous), nous n'avons pas retrouvé ce résultat. Cela nous a renseignés sur l'organisation du système visuel : puisqu'un trou qui apparaît plus gros n'est pas plus facile à viser, c'est que le cerveau se fonde sur une représentation visuelle distincte, inconsciente, pour planifier l'action motrice.

F. M.



Certains chercheurs préconisent de créer un indice pour quantifier la fiabilité d'un résultat

également un coût, ont également été reproduits avec succès. Les expériences de réplication ont confirmé que l'on effectue plus rapidement une tâche lorsque la précédente est identique. Dans une série de chiffres qui défilent, on déterminera ainsi plus vite ceux qui sont impairs si l'on ne fait que cela, par rapport au cas où l'on doit alterner avec une autre tâche, comme «indiquer si un chiffre est supérieur à 5.»

Même quand une expérience de réplication échoue, les «grandes conclusions» restent souvent valides, car elles reposent sur tout un faisceau d'études. Prenons le cas d'un autre effet classique de la psychologie, l'«amorçage». Il est bien établi que des mots ou des personnes peuvent influencer inconsciemment nos jugements et nos décisions, notamment en activant des stéréotypes: une fille obtiendra ainsi de moins bons résultats en mathématiques si on lui rappelle qu'elle est une fille. L'étude sur le Trivial poursuit, que nous avons mentionnée précédemment, s'inscrivait dans ce contexte: l'idée était que l'image mentale d'un professeur «amorçé» l'intelligence et la recherche de connaissances dans notre esprit. Le fait que la réplication ait échoué n'invalide pas les très nombreuses études publiées dans le domaine de l'amorçage, qui reste un phénomène psychologique robuste. De même, le semi-échec de la réplication du test du marshmallow n'annule pas l'ensemble des recherches sur la maîtrise de soi.

Les fondements de la psychologie scientifique sont donc solides. La crise de la réplication a permis, non pas de décrédibiliser cette discipline, mais au contraire d'en redorer le blason en attestant de sa maturité et de sa capacité à se questionner. Elle nous rappelle aussi le caractère provisoire des connaissances scientifiques.

En 1938, le célèbre épistémologue Gaston Bachelard écrivait à leur propos: «Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit.» Gardons donc à l'esprit que les connaissances sont des constructions, elles-mêmes amenées à être, un jour ou l'autre, déconstruites pour être mieux reconstruites par la suite.

DES IDÉES QUI RESTENT INFLUENTES BIEN APRÈS LEUR RÉFUTATION

Le problème est que les résultats les plus étonnants se propagent comme une traînée de poudre, aussi bien chez les scientifiques (l'étude du stylo dans la bouche a été citée par près de 2000 articles scientifiques, d'après *Google Scholar*) que dans le grand public. Et même lorsqu'ils sont réfutés, ils continuent à circuler, voire à être dévoyés. Dans une conférence TED sur le langage corporel datant de 2012, Amy Cuddy, qui avait participé à l'étude «montrant» l'influence du *power posing*, la fameuse posture conquérante avec les bras en V, conseille d'adopter cette posture juste avant un entretien d'embauche et mentionne l'étude du stylo dans la bouche. Cette conférence est encore visible sur Internet et cumule un audimat impressionnant: elle a été visionnée plus de 50 millions de fois.

Une très grande prudence reste donc de mise avant d'utiliser les découvertes de la science à des fins commerciales ou politiques. Harold Pashler, de l'université de Californie à San Diego, préconise de créer un indice spécifique et de le mentionner dès que l'on cite un résultat scientifique. L'indice 1, le plus fiable, serait réservé à des études répliquées une ou plusieurs fois. L'indice 2 serait accordé à des résultats non répliqués, mais dotés d'une bonne puissance statistique (impliquant de multiples mesures et de nombreux participants), tandis que les études d'une puissance plus faible auraient un indice 3 et devraient être considérées comme préliminaires. Seuls les résultats d'indice 1 seraient alors mûrs pour une éventuelle exploitation commerciale ou politique.

C'est ainsi que pourraient être limités les malentendus et les interprétations abusives, tout en conservant le droit à l'erreur. Émettre des hypothèses erronées n'est pas une honte, bien au contraire: c'est inhérent à la recherche. De même, il est normal qu'un certain nombre d'expériences préliminaires ne soient pas confirmées par la suite. L'important est de savoir abandonner une piste qui a débouché sur une impasse. Pour l'astronome américain Phil Plait, «une partie du processus [de la science], c'est admettre qu'on a parfois tort. Et ça peut être vraiment très, très dur. [...] Mais la contrepartie est la meilleure qui soit: savoir et comprendre». ■

BIBLIOGRAPHIE

D. E. Huber et al., **Less "story" and more "reliability" in cognitive neuroscience**, *Cortex*, vol. 113, pp. 347-349, 2018.

H. Pashler et C. R. Harris, **Is the replicability crisis overblown? Three arguments examined**, *Perspectives on Psychological Science*, vol. 7, pp. 531-536, 2012.

J. P. A. Ioannidis, **Why most published research findings are false**, *PLoS Medicine*, vol. 2, pp. 696-701, 2005.

G. Bachelard, **La Formation de l'esprit scientifique**, Librairie philosophique J. Vrin, 1938.

L'intrication quantique défie l'intuition physique classique. Elle établit un lien instantané entre deux particules (en rouge et en bleu) même si elles sont très éloignées l'une de l'autre.

L'ESSENTIEL

> En 1964, le physicien John Bell a montré comment tester la nature de l'intrication quantique, phénomène par lequel deux particules conservent un lien « fantomatique » même quand elles sont très éloignées l'une de l'autre.

> Pour Einstein, l'intrication était la preuve que la physique quantique était incomplète : des « variables cachées locales » expliqueraient le phénomène.

> Plusieurs équipes ont mis en œuvre le test de Bell. Les résultats semblaient

écarter l'hypothèse des variables cachées et confirmaient les prédictions de la physique quantique. Mais ces expériences comportaient des failles (ou « échappatoires »), qui ne permettaient pas d'éliminer complètement l'hypothèse de variables cachées agissant en coulisses.

> Finalement, en 2015, plusieurs groupes ont réalisé les premiers tests de Bell sans échappatoire, qui excluent définitivement toute explication par des variables cachées locales.

LES AUTEURS



RONALD HANSON
physicien
à l'université
de technologie
de Delft,
aux Pays-Bas



KRISTER SHALM
physicien au NIST
(Institut américain
des normes et
de la technologie)
et à l'université
du Colorado
à Boulder