

faut inhiber ce réflexe pour créer de la complexité. Nous savons par ailleurs que ces fonctions cognitives de haut niveau reposent principalement sur le lobe frontal du cerveau. C'est pourquoi les neurologues demandent parfois au patient qui a subi un choc à la tête de produire une suite de chiffres la plus aléatoire possible. Si la région cérébrale est endommagée, le patient aura du mal à créer de la complexité et la suite présentera de nombreuses répétitions.»

Hector Zenil, l'un des organisateurs de la large étude, considère que la capacité à produire des suites complexes est aussi directement corrélée à la créativité, car celle-ci exige de produire de l'inattendu, ce qui est lié à la capacité d'accéder à chaque instant à un ensemble ouvert et large d'éventualités. Pour lui, cette étude doit aussi s'interpréter comme une évaluation de la créativité en fonction de l'âge.

Voyons quelques détails sur le protocole utilisé. Les sujets ont été invités à répondre à cinq exercices liés aux séquences aléatoires. On a évalué leurs réponses en considérant la complexité des séquences courtes qu'ils produisaient.

Exercice a. Les participants doivent créer une série de 12 «pile ou face» pour qu'elle semble aléatoire à quelqu'un d'autre. Ils choisissent sur un écran qui leur propose de manière répétée les deux options. Seul le dernier choix opéré reste visible quand ils effectuent un nouveau choix.

Exercice b. Dix fois de suite, les participants doivent sélectionner 5 cartes dans un jeu en tentant de faire comme si elles provenaient d'un jeu parfaitement mélangé.

Exercice c. Les participants doivent engendrer 10 nombres entiers compris entre 1 et 6, comme pourrait en produire un dé lancé 10 fois. Pour cette épreuve, les choix précédents restent visibles, mais ne peuvent pas être modifiés.

Exercice d. Les participants doivent pointer 10 fois de suite un petit cercle pris dans une série de 9 cercles présentée à l'écran, en choisissant au hasard.

Exercice e. Les participants doivent noircir des cases d'une grille 3×3 initialement blanche, de façon que la grille finale semble aléatoire. Ici, les participants sont autorisés à revenir en arrière sur leur choix jusqu'à en être satisfaits.

À chaque fois, on mesure à la fois la complexité des choix faits et le temps mis pour les faire. Comme le note l'article rapportant cette expérience, celle-ci est un «test de Turing inversé». On ne demande pas à un système informatique d'imiter les réponses que donnerait un humain pour savoir si on peut qualifier le système d'intelligent (c'est l'idée du célèbre test de Turing); on considère, à l'opposé, que c'est la capacité de l'humain à approcher ce que (collectivement) les machines de Turing nous disent de

la complexité qui mesure le niveau des aptitudes cognitives des personnes testées.

Malgré la nature variée des tâches demandées, la réussite des sujets évolue de la même façon en fonction de l'âge pour les cinq exercices: le niveau de réussite s'accroît jusqu'à 25 ans, puis décroît assez lentement jusqu'à 60 ans, âge à partir duquel le déclin s'accélère. L'analyse de la vitesse à laquelle les sujets répondent évolue de façon inverse: diminution des temps de réponse jusqu'à 25 ans, puis augmentation (voir l'encadré 4).

CE QUI INFLUE... ET CE QUI N'INFLUE PAS

Les données collectées sur les participants ont permis d'analyser d'autres facteurs que celui de l'âge. Le sexe des participants n'a aucun effet significatif sur les résultats de la simulation du hasard. En revanche, les participants de sexe masculin répondent plus rapidement que ceux de sexe féminin. Cette différence avait déjà été notée dans d'autres études: les hommes semblent plus pressés que les femmes!

L'analyse montre que les réussites aux quatre premiers exercices sont fortement corrélées: réussir assez bien à l'un indique le plus souvent qu'on réussira bien aux autres. Le cinquième exercice est moins nettement corrélé aux autres, ce qui est peut-être dû à la possibilité donnée aux participants à cet exercice de revenir en arrière sur leurs décisions jusqu'à en être globalement satisfaits.

Le rapport entre réussite aux exercices et croyance au paranormal a été examiné. À cette fin, on a demandé aux participants de noter sur une échelle de 0 à 6 leur degré d'approbation de la phrase suivante: «Certaines coïncidences dont j'ai été témoin ne s'expliquent bien qu'en envisageant la perception extrasensorielle ou des forces paranormales.» L'idée était que quelqu'un n'ayant pas l'aptitude à bien évaluer et produire du hasard chercherait à expliquer des situations parfaitement banales du point de vue statistique en invoquant des considérations fondées sur l'intervention de forces paranormales. Aucune corrélation n'a été trouvée pour les quatre premiers exercices, et une légère corrélation négative est apparue pour le cinquième: les participants créent un peu moins bien des grilles complexes quand ils croient au paranormal.

AUTRES APPLICATIONS

Terminons en mentionnant que, grâce à la mise à disposition des tables de complexité calculées par machines de Turing, plusieurs autres études ont pu être menées concernant la perception visuelle (voir l'encadré 2), la formulation des jugements esthétiques et la façon dont s'opère l'apprentissage d'un langage. ■

BIBLIOGRAPHIE

N. Gauvrit et al., **Human behavioral complexity peaks at age 25**, *PLoS Comput. Biol.*, vol. 13(4), e1005408, 2017.

N. Gauvrit et al., **A preference for some types of complexity comment [...]**, *Acta Psychologica*, vol. 174, pp. 48-53, 2017.

N. Gauvrit et al., **Algorithmic complexity for psychology [...]**, *Behav. Res.*, vol. 48(1), pp. 314-329, 2016.

H. Zenil et al., **Two-dimensional Kolmogorov complexity [...]**, *PeerJ Comp. Sci.*, vol. 1, e23, 2015.

N. Gauvrit et al., **Algorithmic complexity for short binary strings applied to psychology [...]**, *Behav. Res.*, vol. 46(3), pp. 732-744, 2014.

F. Soler-Toscano et al., **Calculating Kolmogorov complexity [...]**, *PloS One*, vol. 9(5), e96223, 2014.

J.-P. Delahaye et H. Zenil, **Numerical evaluation of the complexity of short strings [...]**, *Applied Math. and Comput.*, vol. 219, pp. 63-77, 2012.

H. Zenil et J.-P. Delahaye, **On the algorithmic nature of the world**, dans G. Dodig-Crnkovic & M. Burgin (eds.), *Information and Computation*, pp. 477-496, World Scientific, 2010.

L'AUTEUR



LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à Pour la Science

UN HAVRE POUR LES ABEILLES

Au Havre, au cœur d'une exposition dédiée au génie des abeilles, des modèles façonnés en papier rendent compte de la diversité insoupçonnée de ces insectes.



La nomade jaune, *Nomada flava*,
l'anthilde à manchettes *Anthidium manicatum*
et l'abeille orchidée
Euglossa hemichlora plus vraies
que nature, mais en papier.

En juin 2019, le chercheur Vincent Bretagnolle et ses collègues ont publié une étude montrant que l'agriculture biologique profite aux colonies d'abeilles mellifères, notamment pendant la période de disette à la fin du printemps. Au vu de l'engouement pour le bio et de l'expansion attendue des terres dévolues à ce type de produits, on peut se réjouir pour les abeilles. C'est certainement le cas d'Éric Tourneret, commissaire de l'exposition « Abeilles, une histoire naturelle », présentée au Muséum d'histoire

naturelle du Havre. On peut y voir de nombreuses photographies que ce spécialiste des abeilles a rapporté de dix années de reportages dans vingt pays. On découvre également les toutes dernières découvertes scientifiques sur ces insectes, aussi bien sur leur biologie (communication, prises de décision démocratique, performances cognitives, moyens de défense...) que sur les causes de leur déclin, à commencer par le rôle des pesticides.

Pour compléter l'exposition, l'artiste Hugo Boistelle a quant à lui façonné une série de vingt abeilles en papier illustrant la grande diversité des espèces (géantes ou naines, dotées d'un abdomen fin et long ou au contraire court et trapu...). De fait, les spécialistes en ont identifié plus de 20 000, dont plus de 1 000 en France ! Certes, on connaît l'abeille *Apis mellifera*, l'espèce dominante en apiculture : les ruches qui abritent ses colonies nous sont familières,

même au cœur des villes. Mais saviez-vous que plus de 1 000 espèces en France sont solitaires, c'est-à-dire qu'elles ne fondent pas de colonie sociale et hiérarchisée ? C'est notamment le cas (voir ci-dessus) de la nomade jaune *Nomada flava* et de l'anthilde à manchettes *Anthidium manicatum*. On peut aussi citer l'abeille orchidée *Euglossa hemichlora*, une solitaire qui vit quant à elle au Panamá.

On peut s'étonner que d'autres espèces soient sans dard : pourtant, dans le monde, environ 600 espèces sont dépourvues de cet aiguillon. Un héritage des caractères des abeilles ancestrales, celles qui sont apparues il y a 100 millions d'années, avant