

4

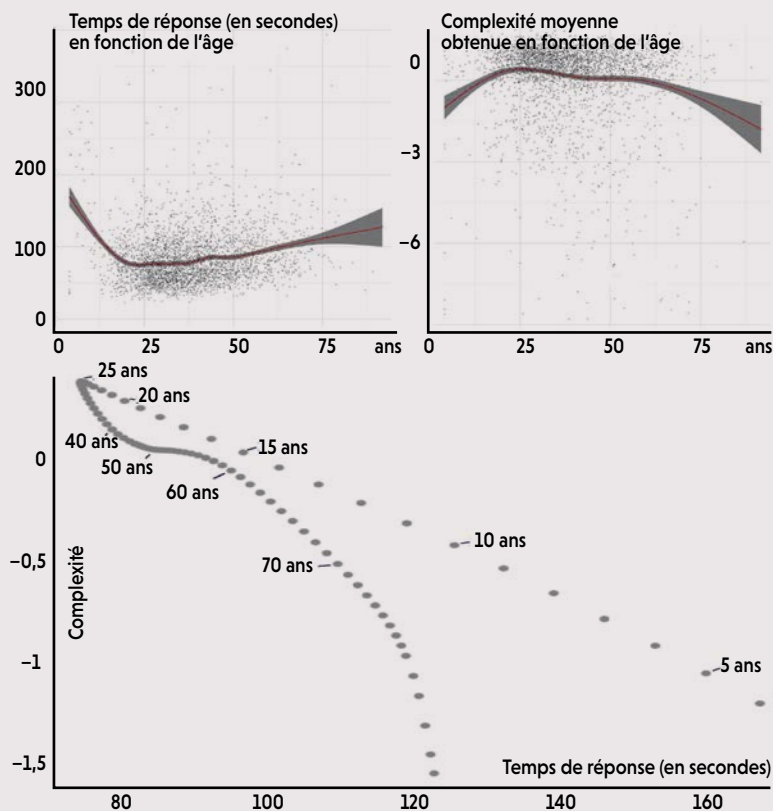
L'ÉVOLUTION DE NOS CAPACITÉS

La production de la complexité exige un effort intellectuel important et de bonnes capacités cognitives (attention soutenue, bonne mémoire immédiate, vivacité, etc.). La mesure de l'aptitude d'un sujet à produire cette complexité est donc un moyen d'évaluer le niveau d'éveil et de bonne santé intellectuelle d'un sujet. En opérant des moyennes sur un grand nombre de sujets d'âges variés, on en déduit l'âge de meilleure forme intellectuelle. Des tests impliquant plusieurs milliers de personnes et les tables de complexité déduites des calculs massifs de machines de Turing (voir le détail du protocole dans l'article), on conclut que l'âge optimal est de 25 ans.

Le graphique a représente le temps de réponse cumulé aux tests : il est minimal à 25 ans. Le graphique b représente la qualité des réponses

données : elle est maximale à 25 ans. L'épaisseur des courbes indique la zone de confiance à 95 %. La courbe c représente les deux variables simultanément : chacun de ses points représente un âge, avec en abscisse le temps de réponse, et en ordonnée une mesure de la qualité moyenne des réponses produites. Les données ont été lissées.

On voit qu'avant 25 ans, la vitesse de réponse comme la qualité augmentent linéairement : apprentissage et maturité produisent leurs effets. Ces bons résultats sont relativement stables pendant quelques années (accumulation des points en haut à gauche), puis se dégradent, et cela de plus en plus rapidement, surtout après 60 ans. Après 70 ans, la vitesse varie peu, mais l'aptitude à produire de la complexité chute sévèrement (voir la première référence bibliographique).



> longues testées) correspondant à une «vision de largeur L».

– On compare les notations des sujets avec celles données par les machines de Turing pour chaque L, et on détermine le L qui rend compte le mieux de ce que les sujets proposent.

– On juge alors probable que cette largeur L est celle que les humains utilisent quand ils ont à évaluer la complexité d'une séquence assez longue qu'ils ne peuvent pas englober d'un seul regard.

Les largeurs de fenêtre qui donnent des réponses les mieux corrélées avec les évaluations (de 0 à 6) humaines sont 4 et 5. La corrélation devient ensuite de plus en plus mauvaise quand la taille de la fenêtre augmente. On en conclut qu'un humain détermine si une séquence longue est aléatoire en se fiant à sa complexité locale évaluée en examinant les sous-séquences d'environ 4 ou 5 éléments consécutifs. Ce résultat est conforme aux évaluations obtenues par ailleurs de la mémoire à court terme (voir l'encadré 3).

À QUEL ÂGE COMMENCE-T-ON À VIEILLIR ?

Puisque produire et reconnaître de la complexité nous est difficile, la mesure de nos capacités à le faire doit évoluer avec l'âge et pourrait, entre autres choses, servir à identifier des signes annonciateurs d'une maladie neurodégénérative.

Pour voir cette évolution, il fallait disposer de méthodes fiables et donnant des résultats stables et reproductibles. C'est pourquoi on a mis en place un protocole expérimental impliquant un grand nombre de personnes (3429) d'âges variés (entre 4 et 91 ans), et que l'on a collecté et analysé un ensemble de données suite à des tests passés par chacun. L'ensemble du travail est fondé sur les mesures de complexité obtenues par les calculs de milliards de machines de Turing. La cohérence des résultats, leur convergence, et les informations nouvelles qu'ils fournissent montrent l'intérêt des évaluations objectives de complexité en psychologie.

Nicolas Gauvrit, le principal organisateur de cette grande expérimentation, avance que la capacité à simuler le hasard est liée à nos capacités cognitives générales :

« Si l'on demande à quelqu'un de produire une suite aléatoire de chiffres, cette personne cherche à produire une suite complexe. Or, depuis longtemps, les psychologues pensent que la complexité permet de mesurer des fonctions cognitives de haut niveau, telles que l'attention, la mémoire à court terme ou encore l'inhibition. Par exemple, après un 1, nous avons tendance à vouloir mettre un 2 : il

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.

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. ■