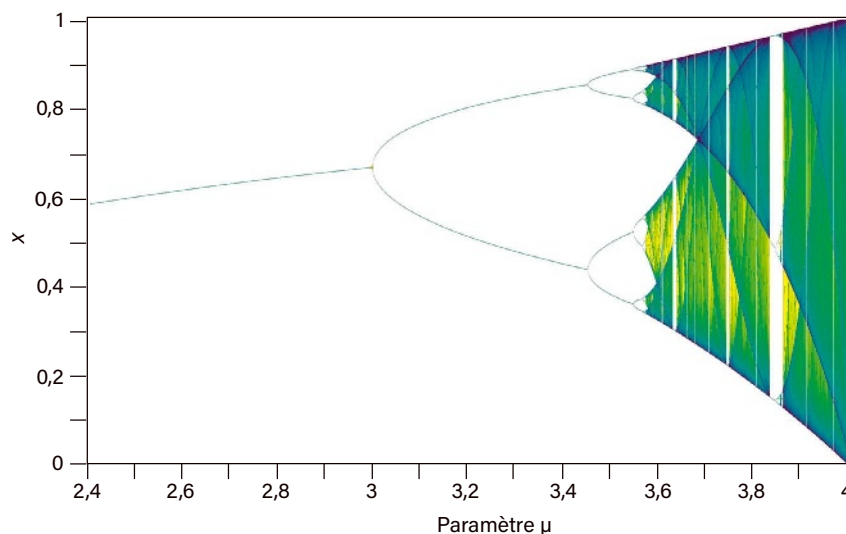




L'étude de certains systèmes dits « chaotiques » a été facilitée grâce aux ordinateurs qui ont permis de visualiser leur comportement. Par exemple, la suite logistique, qui décrit l'évolution d'une population animale d'une année sur l'autre, est définie par $x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n)$. Son comportement dépend de façon très sensible de la valeur de μ . Si $0 < \mu < 1$, la population finit par tomber à zéro. Pour μ entre 1 et 3, la population se stabilise à une certaine valeur. Puis, entre 3 et environ 3,45, la population oscille entre deux valeurs suivant un cycle de deux ans. Entre 3,45 et environ 3,54, le cycle passe à quatre ans, puis à huit ans, etc. La limite du rapport entre deux intervalles consécutifs correspond à une constante universelle, une des constantes de Feigenbaum, qui vaut environ 4,6692... À partir de μ proche de 3,57, le comportement devient chaotique.

assistant de preuve Lean, ou Google, par l'entremise de sa filiale DeepMind, et son programme d'intelligence artificielle capable d'énoncer des conjectures mathématiques (voir l'encadré page 32) – à vouloir automatiser le raisonnement mathématique pour atteindre « le niveau d'un cerveau humain ». Certains industriels assument cette vision très ambitieuse. Leurs travaux actuels seraient un premier pas vers un projet plus vaste dans lequel les ordinateurs commenceraient par partager la conception même des preuves, et ensuite s'en empareraient.

En 2008, dans un article, John Harrison, chercheur au sein du groupe de raisonnement automatisé chez Amazon Web Services et précédemment chez Intel, a présenté les motivations qui poussent les industriels à investir dans le développement des assistants de preuves formelles. Il a écarté assez rapidement une première réponse possible – celle « d'une activité intellectuelle inoffensive et satisfaisante » – avant d'exposer deux « motifs plus concrets ». Son premier argument n'est pas le plus convaincant, il explique que cette démarche pourrait aider à répondre à certaines questions en philosophie des mathématiques. Le second est plus concret : les preuves formelles permettront de gagner en précision, en explicabilité et en fiabilité des démonstrations.

De mon point de vue, les arguments écartés ou retenus démontrent que les informaticiens, comme John Harrison, et les mathématiciens ont des visions antagonistes dans leur approche

de la connaissance. « L'activité intellectuelle satisfaisante » est tout en haut de ma liste des raisons qui font que la vie vaut la peine d'être vécue. Je ne suis pas le seul à penser en ces termes. Kevin Buzzard, avec son rôle central dans la vérification automatique des preuves, note ainsi : « Avec Lean, nous ne montrons aucun signe d'essoufflement, et il y a très peu de financement, juste des mathématiciens qui le font pour s'amuser. C'est l'attitude que nous devons encourager. »

Il est important de s'interroger dès maintenant sur la place que les humains doivent occuper. Il n'est pas question de se dispenser des ordinateurs qui ont enrichi le travail des mathématiciens. Mais il faut, par exemple, se demander quel serait l'intérêt pour l'humanité d'avoir des machines capables d'énoncer des conjectures et d'autres en mesure de les prouver, le tout sans intervention humaine.

JOUER LE JEU AVANT TOUT

Pour paraphraser un vieux proverbe hollandais, les mathématiques ne sont pas seulement « les billes que l'on gagne à la fin d'une partie, mais le jeu lui-même ». Les chercheurs jouent le jeu mathématique avant tout pour comprendre, et dans un second temps pour « gagner » et démontrer des conjectures. On est ici bien loin de l'esprit dans lequel les industriels développent leurs outils, dont l'objectif est par exemple d'être imbattables au jeu de go. L'histoire des mathématiques nous rassure sur ce point : la créativité des chercheurs les a toujours conduits à la découverte de « nouvelles billes » – les nombres imaginaires, les espaces vectoriels liquides de Peter Scholze, etc.

Il est assez vraisemblable que les pronostics de Christian Szegedy sur une machine capable d'un raisonnement mathématique du niveau d'un humain d'ici à 2030 ne seront pas atteints, malgré d'importants résultats (selon les critères des industriels) dans ce domaine. Mais, même si je me trompe sur ce point, je ne crois pas que les mathématiciens verront le résultat comme un « progrès ». Cette vision n'est pas tant une conception erronée des mathématiques qu'une conception erronée des êtres humains. La place des machines en mathématiques n'est pas une question de compétition.

En 2018, dans son livre *Artificial Unintelligence*, Meredith Broussard, professeure de journalisme de données et spécialiste en intelligence artificielle, rappelait un élément clé dans la logique du développement technologique chez ceux qu'elle qualifie de « technochauvinistes » : ces derniers semblent programmés pour oublier que « les êtres humains ne sont pas maintenant, et n'ont jamais été, un obstacle à écarter. Les êtres humains sont le point essentiel. Les humains sont les êtres que toute cette technologie est censée servir ». ■

BIBLIOGRAPHIE

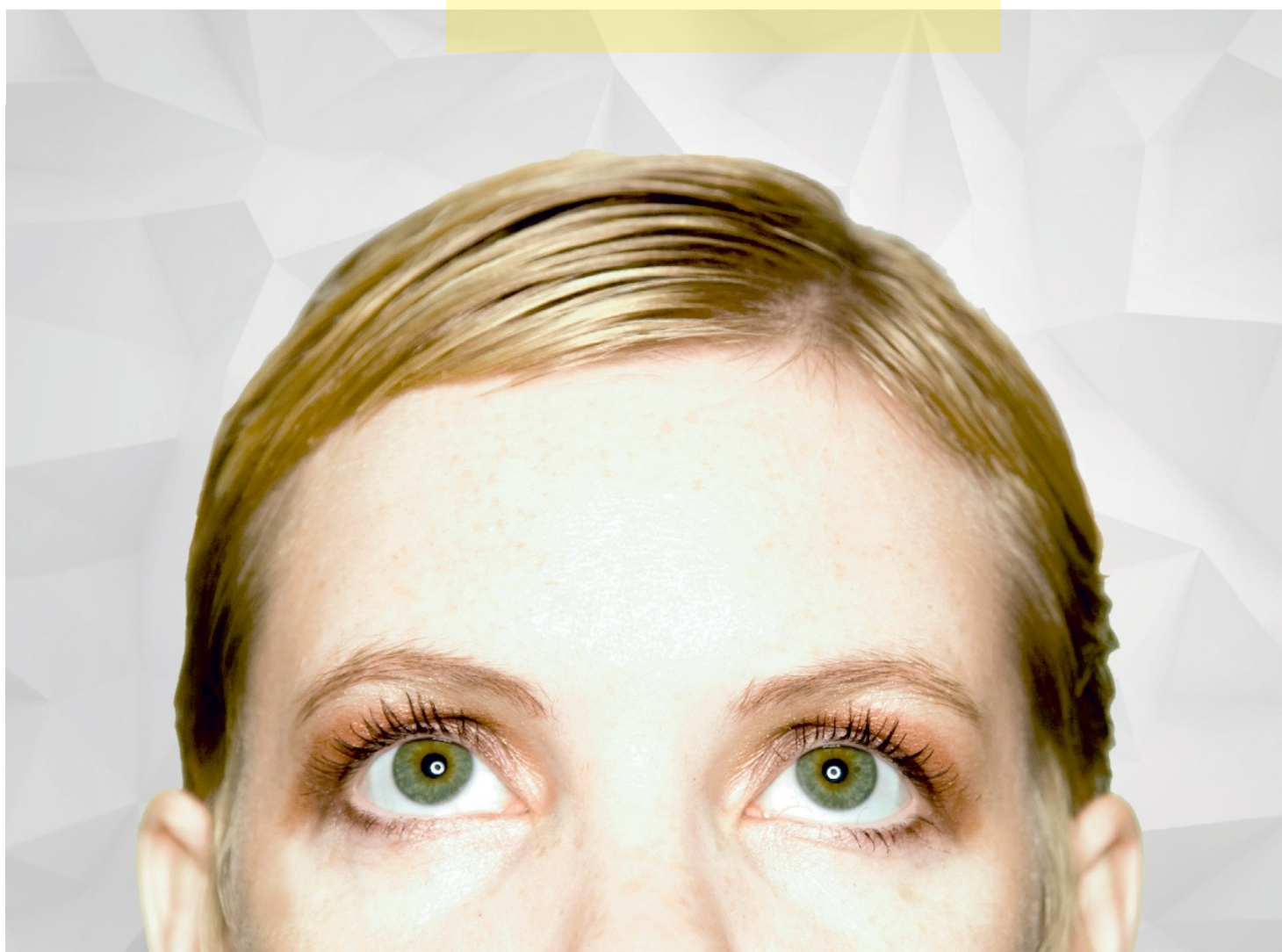
A. Davies et al., **Advancing mathematics by guiding human intuition with AI**, *Nature*, 2021.

J. Jumper et al., **Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold**, *Nature*, 2021.

Peter Scholze, **Liquid tensor experiment**, blog de Kevin Buzzard (projet Xena), 2020.

J.-P. Delahaye, **Comment vérifier les longues démonstrations ?**, *Pour la Science*, n° 452, 2015.

American Mathematical Society, **A special issue on formal proof**, *Notices*, 2008.



AcademiaNet offre un service unique aux instituts de recherche, aux journalistes et aux organisateurs de conférences qui recherchent des femmes d'exception dont l'expérience et les capacités de management complètent les compétences et la culture scientifique.

AcademiaNet, base de données regroupant toutes les femmes scientifiques d'exception, offre:

- Le profil de plus des 2.300 femmes scientifiques les plus qualifiées dans chaque discipline – et distinguées par des organisations de scientifiques ou des associations d'industriels renommées
- Des moteurs de recherche adaptés à des requêtes par discipline ou par domaine d'expertise
- Des reportages réguliers sur le thème »Women in Science«

Partenaires

Robert Bosch **Stiftung**

Spektrum
der Wissenschaft

nature

Pour la Science

L'ESSENTIEL

> Le terme « anthropocène » a émergé au tournant du ^{xxi}e siècle pour désigner le changement global d'origine humaine que subit la Terre depuis plusieurs décennies.

> Si ce qu'il décrit fait consensus, plusieurs controverses entourent le mot choisi, tant

sur sa signification scientifique que sur ses sous-entendus politiques.

> Il est ainsi invoqué pour défendre des projets aussi différents que la géo-ingénierie ou l'autolimitation.

L'AUTEUR



LUC SEMAL
maître de conférences en science politique au Centre d'écologie et des sciences de la conservation, au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris

De quoi l'anthropocène est-il le nom ?

Il ne fait aucun doute que les changements globaux intenses que connaît la Terre sont dus aux activités humaines. Mais le mot choisi pour les décrire porte plusieurs ambiguïtés scientifiques et politiques...

Le néologisme « anthropocène » est un mot imparfait et discutable apparu à la fin du ^{xx}e siècle pour désigner une réalité concrète qui, elle, est malheureusement indiscutable : depuis les débuts de l'industrialisation, et surtout depuis la nette accélération des dynamiques de croissance et de développement qui a suivi la fin de la Seconde Guerre mondiale, les sociétés humaines se trouvent embarquées, à leurs risques et périls, dans « une expérience gigantesque non maîtrisée », selon la formulation de l'historien américain John McNeill dans son ouvrage *Du nouveau sous le soleil* (2010). Celle-ci consiste en une combustion massive des énergies fossiles à l'échelle planétaire, dont trois conséquences parmi les plus saillantes sont une dépendance massive à des ressources non renouvelables nécessairement destinées à se raréfier, une destruction et un empoisonnement des milieux contribuant à un effondrement de la biodiversité

et des populations animales, et l'amorce d'un réchauffement global prochainement susceptible de s'autoalimenter.

Ces conséquences sont d'une ampleur et d'une rapidité telles qu'il devient possible de comparer l'humanité à une force géologique nouvelle, désormais en mesure d'interférer avec les grands cycles biogéochimiques du globe. Le changement global qui en découle peut sembler lent à l'échelle d'une vie humaine, car il constitue un processus s'étalant sur plusieurs décennies, voire sur plusieurs générations, et façonne donc au quotidien tout ce qui constitue notre « normalité » la plus banale. Mais il se révèle d'une fulgurance catastrophique à l'échelle des temps géologiques ou évolutifs, et se trouve donc porteur d'une réflexion vertigineuse sur le sens et les conséquences de l'aventure industrielle, sinon sur le devenir de l'espèce humaine.

Depuis qu'il s'est imposé, le terme choisi pour désigner cette expérience gigantesque et