

des derniers championnats du monde d'athlétisme en 2011. Les valeurs établies à Daegu, en Corée du Sud, étaient en effet inférieures de quatre pour cent aux records du monde en vigueur.

Le plafonnement des performances révèle que, malgré le recours aux produits dopants, les performances associées au phénotype humain (l'ensemble des caractères de notre espèce) sont intrinsèquement limitées par nos gènes et par les conditions de leur expression, c'est-à-dire par l'environnement. Si ce dernier se révélait moins favorable dans une ou plusieurs de ses composantes (climatique, économique, démographique ou culturelle), les performances optimales autorisées par le génome humain se restreindraient fortement. De fait, avec leur mesure précise et leur archivage sur plus d'un siècle, les maxima physiologiques, certifiés par le sport de haut niveau, révèlent un processus beaucoup plus global, en cours dans l'ensemble des activités humaines. En effet, les principes qui gouvernent ces progressions limitent

aussi nos taux de croissance actuels – qu'ils soient énergétiques, économiques, agricoles, technologiques ou démographiques. Et si certains frisent le zéro, beaucoup plongent déjà dans le négatif.

IL EST DIFFICILE D'IMAGINER comment progressera la recherche à laquelle se livre l'humanité pour tenter d'accroître encore ses performances.

Dès lors, que va-t-il se passer à court terme ? Un premier recul des performances se produira très probablement dès 2013. Cette cyclicité est en effet observée tous les quatre ans à l'issue de chaque olympiade. Elle traduit le renouvellement des générations sportives autant que la fatigue des meilleurs, une fois récompensés et rassurés dans leur quête de gloire.

Les athlètes continueront cependant d'éprouver leurs limites, mais dans des marges de progression de plus en plus restreintes. Ce stress supplémentaire poussera certains à s'orienter vers de nouveaux procédés illicites et indétectables. Le dopage

génétique (par détournement des thérapies géniques) apparaît comme l'ultime utopie de ces tentatives. Son échec est cependant prévisible tant sa maîtrise est, à ce jour, incertaine. De plus, la multitude des interactions entre les gènes cibles rend très aléatoire le gain de performance espéré, sans parler des déséquilibres physiologiques que ne manquera pas d'occasionner toute altération d'un génome aussi complexe que celui de l'homme. Les nombreux échecs qu'essuient les manipulations génétiques de végétaux en témoignent.

Il est donc difficile d'imaginer comment progressera la recherche à laquelle se livre l'humanité pour accroître encore ses performances sportives. Cette quête est soumise à des contraintes croissantes d'ordre technique, économique, environnemental ou sociopolitique. Une seule chose est certaine ; comme les chercheurs à l'orée d'une découverte ou les politiques à la veille d'une élection, les athlètes vont continuer à mettre tout leur talent en jeu pour atteindre leur objectif : monter sur la plus haute marche dans leur discipline. ■

universcience présente

cité des sciences et de l'industrie

Palais de la Découverte

les conférences

entrée libre

JUSQU'EN DÉCEMBRE 2012

théma La fin des mondes

Est-ce pour 2012 ? D'où vient le mythe ?

Anthropologues, économistes, astrophysiciens, biologistes et même auteurs de SF partageront leur vision de l'avenir.

En partenariat avec

Avec le soutien de

programme complet sur www.universcience.fr

Les limites de la connaissance

Hervé Zwirn

La science pourra-t-elle tout prévoir, tout calculer, tout démontrer ? Non. Depuis le XX^e siècle, les mathématiciens et les physiciens découvrent des limites irrémédiables au savoir.

L'humanité a toujours cherché à comprendre le monde et à accroître ses connaissances. L'invention de l'imprimerie, l'édition d'encyclopédies, la constitution de grandes bibliothèques, puis, plus récemment, l'avènement de l'informatique et de mémoires électroniques permettant de stocker sur un dispositif de la taille d'une main l'équivalent d'une grande bibliothèque nationale, ont révolutionné l'accès au savoir. Pourtant, nous sommes encore loin de tout connaître et tout comprendre. On pourrait se dire que c'est une question de temps et de patience. Mais outre des obstacles d'ordres technique, biologique ou social – par exemple, aucun individu, quelle que soit son intelligence, n'est capable d'assimiler tout le savoir disponible aujourd'hui –, il existe des difficultés plus fondamentales. Comme nous allons le voir, ces dernières ont été mises au jour dans les deux champs scientifiques où l'espoir de parvenir à une connaissance parfaite était pourtant le moins utopique : les mathématiques et la physique.

Ainsi, en 1931, le logicien autrichien Kurt Gödel publia deux théorèmes qui ont brisé le rêve du grand mathématicien allemand David Hilbert de construire une mathématique où tout énoncé serait démon-

L'ESSENTIEL

- Les mathématiques et la physique ne permettront pas de tout comprendre. Certaines théories posent des limites au savoir.
- Les théorèmes d'incomplétude de Gödel sont parmi les premiers exemples de limites fondamentales en mathématiques.
- Il existe des limites cognitives et ontologiques, car il est impossible de calculer certains objets mathématiques et même de savoir si certains existent.
- Les systèmes chaotiques posent une limite prédictive : il n'est pas possible de déterminer l'état du système au-delà d'un avenir limité.

© Zastaf'skiy Victor Leonidovich/shutterstock.com

trable sans ambiguïté. Gödel prouva formellement que, dans tout cadre mathématique, il existe des énoncés qui, bien que vrais, ne pourront jamais être démontrés. Les travaux de Gödel, ainsi que d'autres développements des mathématiques et de la physique, ont eu des conséquences sur la réflexion philosophique sur les limites de la connaissance humaine. Simultanément à de grandes révolutions scientifiques telles que la théorie quantique, les mathématiques et la physique du XX^e siècle ont montré qu'il existe des limites infranchissables au champ du savoir.

L'importance de ce bouleversement ressort davantage lorsqu'on connaît le contexte scientifique de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle. Chez les savants du XIX^e siècle, on trouvait un certain optimisme et l'idée que tout problème pouvait être résolu ; ce n'était qu'une question de temps, de moyens et d'ingéniosité. La plupart des scientifiques pensaient que la science apporterait des réponses à presque toutes les questions possibles sur le monde qui nous entoure. Bien sûr, peu d'entre eux prétendaient que ce stade final était déjà atteint. Mais le cadre théorique de la fin du siècle leur paraissait assez solide pour servir de base aux explications qui seraient développées ultérieurement. La conviction des scientifiques était que les théories existantes, une fois améliorées, seraient suffisantes pour rendre compte de façon satisfaisante de l'ensemble des phénomènes connus ou à découvrir.

Certes, tous ne partageaient pas ce sentiment. Le physiologiste allemand Emil du Bois-Reymond l'a exprimé en 1872 à travers la maxime latine « *ignoramus et ignorabimus* » qui signifie « nous ne savons pas et ne saurons jamais ». Mais sa position n'était pas majoritaire. À l'inverse, le physicien britannique lord Kelvin, vers la fin du XIX^e siècle, prétendait que « la science

physique forme aujourd'hui, pour l'essentiel, un ensemble parfaitement harmonieux, un ensemble pratiquement achevé. Il n'y a plus rien de nouveau à découvrir. Tout ce qui reste à faire, ce sont des mesures de plus en plus précises».

Hilbert ne pensait nullement que les mathématiques étaient achevées puisqu'il proposa, en 1900, une liste de 23 grands problèmes ouverts. Il travailla aussi sur un programme visant à développer une théorie de la démonstration, afin de donner des fondements solides aux mathématiques. Selon lui, toute vérité mathématique devait pouvoir être démontrée, et cela d'une façon qui ne laisse aucun doute quant à la validité de la démonstration.

Éliminer le doute en mathématiques

S'opposant à du Bois-Reymond, Hilbert déclara : « En mathématiques, il ne doit pas y avoir d'*ignorabimus*. » On retrouve ces projets dans le courant de pensée des empiristes logiques du cercle de Vienne, un groupe de philosophes des années 1920



1. KURT GÖDEL (1906-1978), mathématicien autrichien qui prit la nationalité américaine, a énoncé et démontré en 1931 deux théorèmes d'incomplétude. Ils indiquent que toute mathématique suffisamment riche pour contenir l'arithmétique contient des énoncés indécidables, et que la non-contradiction du système est l'un d'eux.

G. Guerrato

qui pensaient que le savoir pouvait être assis sur des fondations solides.

Selon cette école de pensée, il devrait être possible de construire le savoir de proche en proche, en s'assurant par vérification, à chaque étape de sa construction, que les théories élaborées sont vraies. L'édifice total ainsi constitué serait une description adéquate de la réalité, non seulement dans ses manifestations empiriques, mais aussi dans sa structure profonde. Par cette méthode, il n'y aurait pas le moindre doute sur la véracité des énoncés. Ainsi, la science serait capable de prévoir qualitativement et quantitativement les événements futurs avec une précision arbitraire et sur une durée infinie.

La science du XX^e siècle a rapidement détruit ces espoirs. Comme nous l'avons vu, Gödel a mis fin au programme de Hilbert à travers la démonstration de ses célèbres théorèmes d'incomplétude. Ces derniers prouvaient que, dans tout cadre mathématique, il existe des énoncés qui sont vrais, mais qu'il est impossible de prouver dans ce cadre.

Par ailleurs, la physique du XIX^e siècle, constituée essentiellement de la mécanique newtonienne, de la thermodynamique et de l'électromagnétisme, a donné naissance à deux révolutions majeures, la théorie de la relativité et la théorie quantique. Ces édifices, auxquels il convient d'ajouter la physique des systèmes non linéaires qui s'est beaucoup développée dans les années 1970-1990, ont porté un coup fatal aux espoirs de Kelvin.

La science construit ses propres limites

L'idée de tout expliquer n'est aujourd'hui plus tenable en raison de la mise en évidence, par la science elle-même, de limites infranchissables à son propre discours. Il est commode de classer ces limites en quatre catégories que nous développerons dans la suite. Les limites *constructives* sont relatives à l'impossibilité de construire un discours scientifique qui échappe à tout doute et qui repose sur des fondements sûrs. Les limites *prédictives* montrent l'impossibilité de prévoir certains phénomènes avec une précision arbitraire sur une échelle de temps indéterminée. On retrouve ce type de limite en physique, par exemple dans la théorie du chaos. Les limites *cognitives* concernent l'existence de domaines qui resteront hors de portée du savoir. De telles

L'AXIOME DU CHOIX

L'axiome du choix stipule qu'en présence de plusieurs ensembles non vides, il est possible de choisir un élément de chaque ensemble pour former un nouvel ensemble. Plus formellement, pour toute famille d'ensembles, il existe une fonction de choix qui associe à chaque ensemble un de ses éléments. Cet axiome est trivial et n'est pas nécessaire pour les ensembles finis. En revanche, il est utile pour des démonstrations mettant en jeu des ensembles infinis. L'axiome du choix est souvent ajouté à l'axiomatique de Zermelo-Fraenkel en théorie des ensembles. Il était d'ailleurs implicitement utilisé jusqu'à la fin du XIX^e siècle, avant d'être rigoureusement formalisé par Ernst Zermelo.

Cependant, cet axiome est controversé. Les mathématiciens intuitionnistes préfèrent ne pas l'utiliser. En effet, l'axiome du choix assure l'existence de certains objets, mais n'en donne pas une méthode de construction, ce qui est peu satisfaisant du point de vue des intuitionnistes.

