

## L'ESSENTIEL

> Des chercheurs se penchent sur l'hypothèse que notre monde ne serait qu'une simulation informatique, créée par des êtres venant d'une réalité supérieure.

> Certains arguments tirés de la physique tendent à confirmer

cette hypothèse... mais d'autres mènent à la conclusion opposée.

> Physiciens, informaticiens et philosophes explorent des pistes pour tenter de formaliser ce questionnement de manière rigoureuse.

## L'AUTEUR



## JEAN-PAUL DELAHAYE

professeur émérite à l'université de Lille et chercheur au laboratoire Cristal (Centre de recherche en informatique, signal et automatique de Lille)

# Simulation totale La thèse de l'illusion se précise

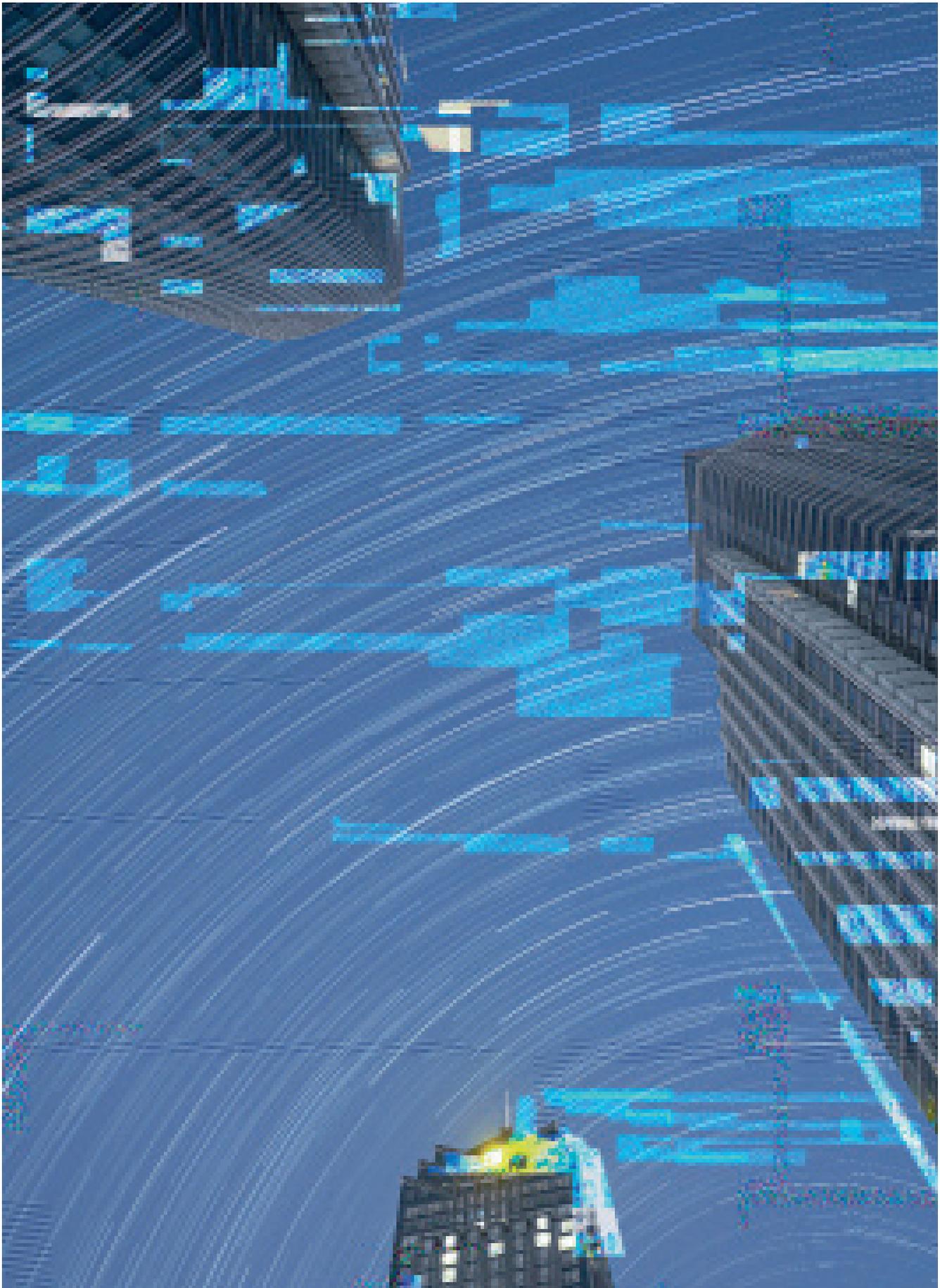
De récents travaux reprennent et affinent les raisonnements du philosophe suédois Nick Bostrom qui, il y a vingt ans, estimait probable que notre réalité soit en fait une simulation informatique menée par une civilisation avancée.

**S**ommes-nous des marionnettes dont les fils sont tenus par des êtres supérieurs, qui nous auraient programmés dans leurs superordinateurs ? La question est bien plus sérieuse qu'on ne l'imagine, et au-delà des nouvelles, livres ou films de science-fiction, des dizaines d'articles ont traité le sujet, écrits par des philosophes ou des scientifiques, y compris les plus prestigieux. Des travaux présentés récemment par de très sérieux chercheurs canadiens et prenant en compte de la nature quantique de notre monde reformulent les raisonnements développés il y a vingt ans par le philosophe suédois Nick Bostrom. Les premiers raisonnements aboutissaient à une évaluation proche de 100% pour la probabilité que nous soyons dans une simulation conduite au sein d'ordinateurs appartenant à une civilisation avancée. La nouvelle étude du problème produit des formules plus précises, mais malheureusement, selon la valeur des

paramètres qui y apparaissent, elles confirment les conclusions de Nick Bostrom ou s'y opposent franchement. Le problème est devenu plus scientifique et riche, et s'il reste pour l'instant difficile d'en tirer une conclusion définitive, le travail entrepris est fascinant et donne à réfléchir. Bien entendu, la nature proprement scientifique des discussions autour de cette question est parfois discutable. Il faut accepter, pour se plonger dans cette littérature, de concevoir l'exercice comme un jeu intellectuel entremêlant la physique, la philosophie et les romans de science-fiction.

La question posée est : quelle est la probabilité que nous vivions dans une simulation qui serait menée sur les machines d'une civilisation supérieure ayant atteint la capacité technique de produire et de faire fonctionner des modèles informatiques de l'univers entier avec ses éventuels habitants ? L'utilité de ces simulations dont nous serions les jouets et qui feraient du monde que nous

Certains indices concrets pourraient nous aider à déterminer si nous vivons dans une simulation informatique générée par des êtres supérieurs. Par exemple, des « défauts » au sein de notre réalité (comme des dysfonctionnements difficilement explicables sur des écrans d'ordinateurs) pourraient faire partie de ces indices.



percevons une illusion serait, pour cette civilisation, de mieux comprendre et résoudre certains problèmes de physique, de théorie de l'évolution, de psychologie ou de sociologie. Ou peut-être ces expériences seraient-elles liées à des questions que nous ne pouvons même pas imaginer. Les êtres à l'origine de notre existence seraient analogues aux chercheurs qui, ici, sur Terre, étudient la circulation routière en créant des logiciels qui la simulent, dans le but de comprendre comment surviennent les embouteillages ou l'effet d'une réduction des vitesses maximales autorisées sur les risques d'accidents.

## UN PROBLÈME ANCIEN

L'idée que notre monde serait une illusion n'est pas nouvelle. On en trouve une première forme chez Platon avec le mythe de la caverne et plus récemment chez René Descartes qui, dans la première de ses *Méditations métaphysiques*, parue en 1641, émet l'hypothèse que tout ce qui est autour de nous pourrait être une tromperie créée par un «diable». Ce «doute radical» s'impose et plaît à Descartes car il en déduit

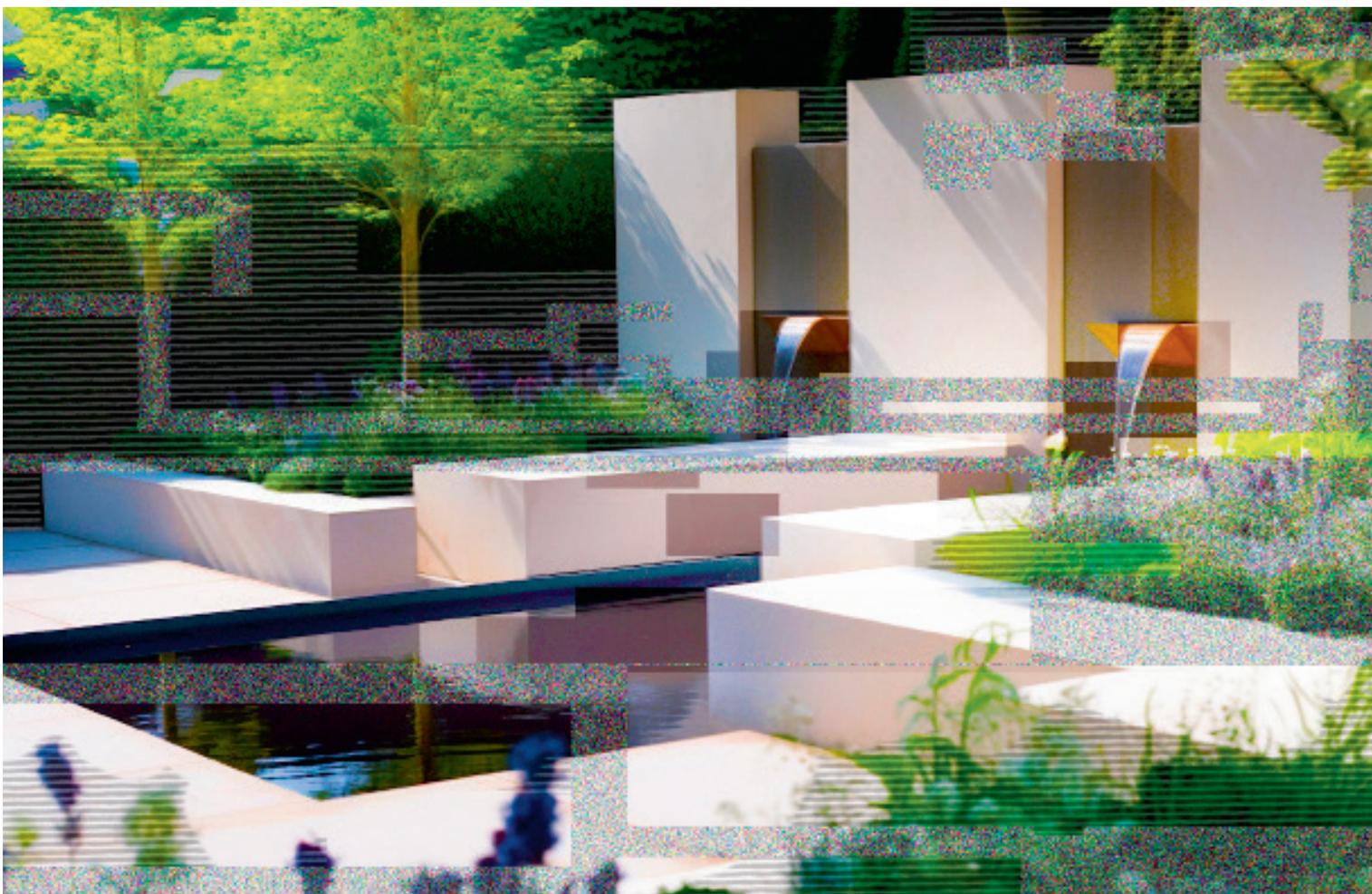


### À LIRE

**Dans le roman *Simulacron 3* de Daniel Galouye, Douglas Hall travaille sur un projet de simulation si réaliste que les êtres virtuels qui y évoluent pensent vivre dans un monde réel. Mais en raison d'événements troublants advenant autour de ce projet, le héros commence à soupçonner que son propre monde n'est qu'une simulation, créée dans un niveau supérieur de réalité.**

qu'«il n'est en [son] pouvoir de parvenir à la connaissance d'aucune vérité». Il explique qu'il imagine «un mauvais génie, non moins rusé et trompeur que puissant, qui a employé toute son industrie à [le] duper» et qui fait que «le ciel, l'air, la terre, les couleurs, les figures, les sons et toutes les choses extérieures [qu'il voit] ne sont que des illusions dont il se sert pour surprendre [sa] crédulité». La science-fiction, bien évidemment, s'est aussi emparée de ce thème, et dès 1964 l'auteur américain Daniel Galouye en fait le sujet central de son excellent roman *Simulacron 3*, où le héros comprend progressivement qu'il n'est pas dans un vrai monde, mais dans un univers fictif créé par un ordinateur.

Bien d'autres récits et films, dont la fameuse trilogie *Matrix*, explorent cette idée d'une réalité totalement illusoire. Plus étonnant peut-être, cette hypothèse et éventuellement sa réfutation sont l'objet d'une discussion acharnée dans le monde de la philosophie, et ce depuis un étonnant article de Nick Bostrom en 2003. Le philosophe, actuellement chercheur à la Macrostrategy Research Initiative, s'intéresse, outre l'hypothèse de la simulation,



à un certain nombre de thèmes en lien avec les sciences fondamentales, comme l'intelligence artificielle ou encore le principe anthropique. Son article de 2003 a été cité plus de 1 500 fois, et la discussion qu'il a lancée se poursuit aujourd'hui sans relâche, avec de nombreux articles publiés chaque année sur ce thème.

En particulier, il est remarquable que Gilles Brassard, l'un des co-inventeurs de la cryptographie quantique, dont le nom circule depuis plusieurs années pour le prix Nobel de physique, se soit penché de près sur ces questions. En 2021, il a cosigné, avec son collègue de l'université de Montréal Alexandre Bibeau-Delisle, un article publié dans les *Proceedings* de la Royal Society de Londres, dans lequel les deux chercheurs réexplorent le raisonnement probabiliste de Nick Bostrom en 2003. Ils prennent en compte la possibilité des ordinateurs quantiques, et formulent leur raisonnement dans un cadre de physique théorique plus précis. Ils ajoutent aussi l'idée d'éventuelles « simulations récursives », c'est-à-dire créées par des êtres qui seraient eux-mêmes déjà dans une simulation. Nous allons rappeler le raisonnement de Nick Bostrom, puis nous présenterons brièvement les idées d'Alexandre Bibeau-Delisle et Gilles Brassard.

## LE RAISONNEMENT DE BOSTROM

Conçu par Nick Bostrom en 2001 et publié en 2003, le raisonnement suivant, que nous présentons succinctement, est le point de départ des nouveaux travaux probabilistes et physiques sur le problème de la simulation.

Si toute civilisation dans le cosmos ne finit pas par s'autodétruire avant d'avoir acquis une technologie suffisante pour mener des simulations globales incluant des êtres intelligents et conscients de la même nature que nous, alors il est possible que des civilisations disposant de tels moyens procèdent à un très grand nombre de simulations de ce type, donnant « naissance » à des êtres fictifs, intelligents et conscients, en très grand nombre. Dans ce cas, ces êtres fictifs des réalités simulées seront bien plus nombreux que les êtres réels de la réalité de base. Si l'on accepte ces hypothèses, il en résulte donc que la probabilité que nous soyons dans une simulation est très élevée, et sans doute proche de 100%. Ainsi, nous sommes presque certainement dans une simulation.

Suivant cet argumentaire, il n'y aurait alors qu'une alternative, dont les deux issues sont aussi troublantes l'une que l'autre : soit notre civilisation se détruira elle-même parce que c'est le destin inévitable de toute civilisation ; soit il est très probable que nous sommes dans une simulation – car avec les informations dont nous disposons, nous ne pouvons pas

## LA FORMULE DE GILLES BRASSARD ET ALEXANDRE BIBEAU-DELISLE

**D**ans une nouvelle étude du problème de la simulation, les deux physiciens canadiens Alexandre Bibeau-Delisle et Gilles Brassard adoptent l'idée que les phénomènes quantiques ne peuvent être simulés efficacement qu'en exploitant des ressources informatiques quantiques. Ils y ajoutent les hypothèses suivantes :  
 (a) À une certaine échelle, l'espace-temps devient discret.  
 (b) La densité d'information dans le monde est finie.  
 (c) La gravité ne remettra pas gravement en cause la mécanique quantique.

Dans un premier calcul, ils envisagent qu'il existera des systèmes de calculs d'une puissance de  $10^{50}$  OPS/kg (opérations par seconde et par kilogramme) – une valeur classique due au physicien spécialiste des systèmes complexes Seth Lloyd, qui résulte de considérations de physique fondamentale. Ils estiment que la masse utilisée pour simuler les cerveaux d'un monde virtuel sera un milliard de fois plus faible que celle des cerveaux réels ; une valeur plus grande renforcerait la conclusion. Sachant qu'un cerveau réel a une puissance d'environ  $10^{16}$  OPS et une masse d'environ 1,4 kg, il en résulte que pour chaque cerveau réel, on pourrait simuler jusqu'à  $10^{50} \times 1,4 / (10^9 \times 10^{16}) = 1,4 \times 10^{25}$  cerveaux fictifs, en ordre de grandeur. La proportion de cerveaux simulés parmi tous les cerveaux serait alors d'environ  $1,4 \times 10^{25} / (1,4 \times 10^{25} + 1)$ , soit un nombre très proche de 1. Ce résultat conforte l'idée de Nick Bostrom selon laquelle nous sommes plus probablement dans une

simulation que dans un monde réel. Plus précisément, la formule générale donnant cette probabilité est :

$$R_{\text{Cal}} = (M_{\text{Bra}} M_{\text{Use}} D_{\text{Mat}} / P_{\text{Bra}}) / ((M_{\text{Bra}} M_{\text{Use}} D_{\text{Mat}} / P_{\text{Bra}}) + 1)$$

où :

–  $R_{\text{Cal}}$  est la proportion de cerveaux virtuels par rapport à tous les cerveaux existants (réels et virtuels confondus), c'est-à-dire la probabilité que nous soyons dans une simulation ;

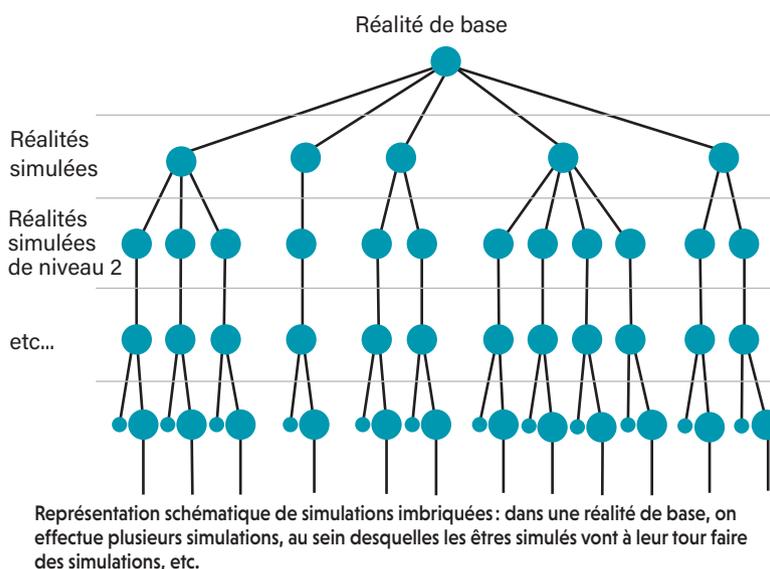
–  $M_{\text{Use}}$  est le rapport de la quantité de matière utilisée pour simuler les cerveaux du monde virtuel sur la quantité de matière des cerveaux réels ;

–  $M_{\text{Bra}}$  est la masse moyenne d'un cerveau humain ;

–  $D_{\text{Mat}}$  est la puissance maximale de calcul par kilogramme ;

–  $P_{\text{Bra}}$  est la puissance de calcul moyenne d'un cerveau humain.

Dans des raffinements supplémentaires, les chercheurs ont introduit l'idée que seule une fraction des êtres réels accède à la puissance de calcul nécessaire pour faire des simulations, et ont intégré plusieurs autres paramètres. Ils ont aussi et surtout pris en compte la possibilité qu'à l'intérieur d'une simulation, on en fasse d'autres. Tout ceci conduit à des formules générales complexes, dont il n'est plus vrai qu'elles confirment la thèse de Nick Bostrom. Comme dans le cas de la formule de Drake, qui fournit une manière d'estimer le nombre de civilisations extraterrestres que doit contenir notre galaxie, les paramètres des équations de Brassard et Bibeau-Delisle sont aujourd'hui impossibles à évaluer sérieusement.



distinguer entre «vivre dans une réalité de base» et «vivre dans une réalité simulée».

De nombreuses objections ont bien sûr été formulées, donnant lieu à une volumineuse littérature, principalement due à des philosophes. Le rejet de ce raisonnement se fonde sur plusieurs idées, dont nous ne cherchons pas à faire la liste exhaustive. L'une d'entre elles est qu'il existe peut-être des obstacles technologiques fondamentaux à ce que nous réalisons des simulations d'êtres «équivalents à nous». Si c'est le cas, il n'y a pas de mondes simulés aussi riches et complexes que le nôtre avec en son sein des êtres qui nous ressemblent. Peut-être, aussi, qu'une civilisation avancée qui acquerrait la technologie pour entreprendre de telles simulations ne le ferait pas, par exemple pour des raisons éthiques, en considérant qu'il est moralement inacceptable de «créer» des êtres intelligents et conscients. Peut-être, encore, nos civilisations se stabiliseront-elles technologiquement, pour des raisons écologiques ou autres, et adopteront des politiques aboutissant à une croissance nulle ou à une décroissance, interdisant à jamais de disposer de la capacité de procéder à de telles simulations massives. Peut-être, également, que cette faculté de mener des simulations globales ne survient que très tardivement dans le développement d'une civilisation technologique, et qu'il existerait donc un très grand nombre d'êtres conscients véritables avant qu'on puisse en simuler, ce qui contredirait l'hypothèse qu'il y aurait davantage d'êtres conscients simulés que d'êtres conscients réels.

Une autre objection s'appuie sur l'idée que notre univers serait infini: même si seule une partie finie de l'univers nous est accessible, rien n'interdit de croire qu'il est infini.

Si tel est le cas, alors il y a peut-être des êtres analogues à nous en nombre infini dans la réalité de base. Pour en déduire une probabilité d'être un être réel, il faudrait pouvoir comparer deux ensembles infinis dénombrables – celui des êtres réels et celui des êtres simulés – et faire leur rapport, chose à laquelle il est ici difficile de donner un sens mathématiquement car il n'existe pas de mesure de probabilité naturelle sur l'ensemble des entiers.

## NOUVELLES FORMULES

Le raisonnement de Nick Bostrom n'est pas conduit en tentant de calculer explicitement la probabilité, affirmée proche de 100%, que nous soyons dans une simulation. Pourtant, même si c'est difficile, il est intéressant de rechercher une telle formule, à la manière de l'astrophysicien Frank Drake quand il a tenté d'évaluer le nombre de civilisations extraterrestres dans notre galaxie. C'est exactement le projet entrepris par Alexandre Bibeau-Delisle et Gilles Brassard.

La première étape de leur travail a donc consisté à écrire la formule correspondant à l'argument de Nick Bostrom (voir l'encadré 1). Grâce à elle, on retrouve numériquement la conclusion du raisonnement exposé ci-dessus, qui indique que nous sommes très probablement dans une simulation. Les chercheurs canadiens proposent alors deux raffinements:

(a) Le premier est que, pour qu'un être conscient se trouve dans une situation comparable à la nôtre, il ne suffit pas de simuler le fonctionnement de son cerveau: il faut aussi simuler son environnement. Pour que ce dernier soit cohérent et crédible, cela exige bien plus de calculs que la simulation du seul cerveau. Simuler d'une manière détaillée notre perception du monde et ses réactions en fonction de ce que nous y faisons – par exemple: des expériences de physique quantique; la programmation d'un ordinateur qui calcule cent mille milliards de décimales de  $\pi$ , etc. – exige de simuler le monde dans sa totalité, ce qui est d'une grande difficulté... *a fortiori* dans la mesure où il faut que la simulation soit compatible avec la mécanique quantique!

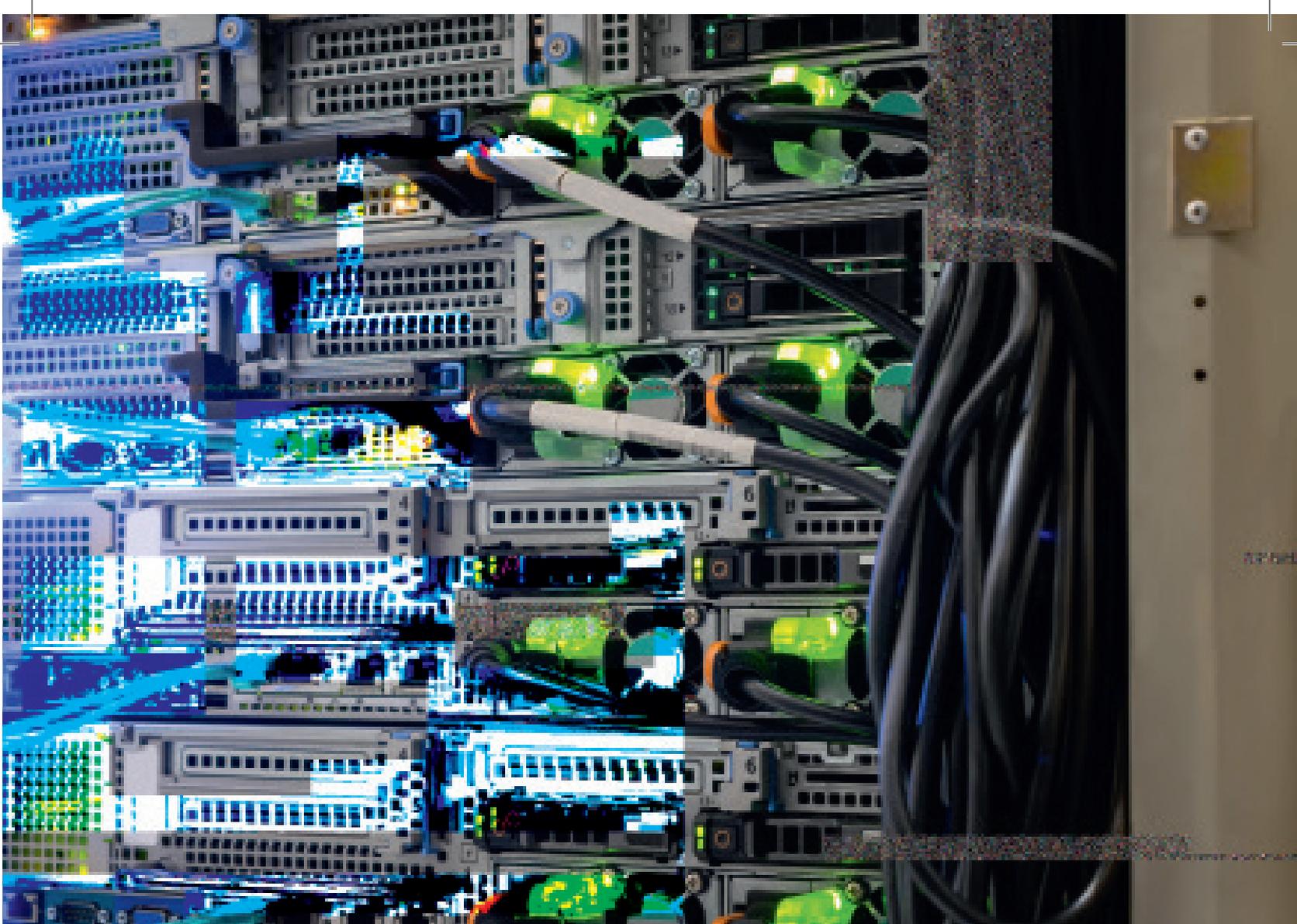
(b) Dès lors que le monde simulé est vraiment comparable au nôtre, il peut se produire que les êtres fictifs qui l'habitent mettent en œuvre à leur tour une simulation du même type, c'est-à-dire de second niveau. Il y en aura même certainement plusieurs différentes, et au sein de chacune d'elles des simulations de



## INUTILE COMPLEXITÉ ET INDICES DE SIMULATION

**L**e physicien et cosmologue britannique John Barrow s'est beaucoup intéressé aux questions de multivers et au principe anthropique. Il a formulé un avis ouvert et original sur l'idée de la simulation, dont voici un résumé.

Des êtres intelligents créant une simulation évitent nécessairement la prise en compte complète des lois identifiées de la nature, se contentant au contraire de lois simplifiées. Ainsi, lorsqu'une société d'animation réalise un film mettant en scène la réflexion de la lumière sur la surface d'un lac, elle n'utilise pas les lois de l'électrodynamique quantique et de l'optique pour calculer la diffusion de la lumière – cela exigerait une trop grande puissance de calcul – mais des règles plausibles et simples, donnant des résultats satisfaisants à condition qu'on n'y regarde pas de trop près. D'un point de vue économique et pratique, de telles simplifications sont inévitables pour d'hypothétiques simulateurs d'univers, même si elles produisent nécessairement de petites incohérences, peut-être perceptibles « de l'intérieur » de la simulation. Dans cette hypothèse, le bon fonctionnement d'une simulation n'est pas complètement empêché par ces simplifications, mais sur une longue période les petites failles peuvent s'accumuler. Leurs effets faisant boule de neige, la simulation risque alors de cesser de fonctionner. Le seul moyen de l'éviter est que les programmeurs interviennent pour régler les problèmes un par un, au fur et à mesure qu'ils se présentent. Comme les simplifications, ces interventions entraînent des incohérences logiques ou physiques, et la réalité simulée est donc victime de ratés ressentis de l'intérieur. Les êtres vivants dans une réalité simulée observeront donc inévitablement des anomalies, en particulier de petits écarts dans la stabilité des lois supposées de la nature. Ainsi, si nous souhaitons déterminer si oui ou non, nous vivons dans une simulation, la recherche de défauts et d'incohérences dans ce que nous observons est aussi importante que la recherche même des lois de la nature.



troisième niveau qui engendreront des simulations de quatrième niveau, etc., tout cela augmentant le coût en calcul de n'importe quelle simulation réaliste.

La prise en compte des éléments (a) et (b) dans la formule qui évalue la probabilité que nous soyons dans une simulation en change radicalement la forme, et la rend assez complexe. Elle laisse alors la porte ouverte à pratiquement toutes les options, selon les valeurs des paramètres qu'on y place.

Nous ne détaillons pas la nouvelle formule, réellement délicate, d'Alexandre Bibeau-Delisle et Gilles Brassard, mais son enseignement rejoint celui de la «formule de Drake» pour les civilisations extraterrestres: trop d'hypothèses, trop de paramètres inaccessibles empêchent finalement d'aboutir à une conclusion ferme. Il faudra attendre de nombreuses années, sinon des siècles, avant de connaître des valeurs crédibles pour les paramètres de la formule et d'en tirer des conclusions fiables, soit dans le sens de Nick Bostrom soit en contradiction avec sa thèse. C'est un peu décevant, mais plus sérieux. Notons quand même qu'Alexandre Bibeau-Delisle et Gilles Brassard formulent des

*Si certaines civilisations réalisent des simulations, il est possible qu'elles-mêmes soient déjà le fruit d'une simulation générée par des êtres supérieurs. Autrement dit, il est possible qu'il existe différents niveaux de réalités imbriquées.*

hypothèses assez naturelles qui, combinées avec leur formule, conduisent à la conclusion que la probabilité que nous soyons dans une simulation est en fait plutôt faible.

Cette approche fondée sur la difficile mise en évidence d'une formule ne donne rien de définitif, pourtant le problème posé est important... pour quiconque aime spéculer. Pour tenter d'avancer et pour le plaisir du jeu nous allons donc poursuivre le recensement des arguments et indices, produits par de nombreux chercheurs, d'une part en faveur de la conclusion que nous sommes dans une simulation, et d'autre part en faveur de la conclusion opposée.

## DES ARGUMENTS POUR...

L'argument le plus simple appuyant les conclusions de Nick Bostrom en appelle aux progrès technologiques du numérique ces dernières décennies. Le bond de réalisme fait, par exemple, dans l'industrie du jeu vidéo pourrait inciter à penser que les technologies de demain nous permettront, à coup sûr, de créer des simulations ultraréalistes comportant des êtres fictifs. Si cet argument continue parfois de séduire – il est par exemple invoqué par

L'entrepreneur Elon Musk, lequel a d'ailleurs contribué à financer les travaux du philosophe suédois –, il reste faible, et il est nécessaire d'examiner des raisonnements plus fins.

Le suédois Max Tegmark, cosmologiste reconnu, également chercheur en apprentissage automatique et professeur à l'institut de technologie du Massachusetts (MIT), formule un autre argument indirect en faveur de la thèse de Nick Bostrom: «Si nous étions des personnages dans un jeu d'ordinateur, nous finirions par découvrir que les règles sont totalement rigides et mathématiques, car elles seraient le résultat d'un programme informatique, or justement nous découvrons que les règles qui régissent le monde physique sont rigides et mathématiques.» Ces propos sont rapportés par William Poundstone dans son livre *The Doomsday Calculation: How an Equation that Predicts the Future Is Transforming Everything We Know About Life and the Universe*, paru en 2019.

Un argument amusant avancé par Alexandre Bibeau-Delisle et Gilles Brassard, qu'ils considèrent comme très puissant, repose sur le fait que nous n'avons pas découvert de vie extraterrestre autour de nous. C'est surprenant, car si la vie est apparue sur Terre, c'est qu'elle est suffisamment probable: elle doit donc exister ailleurs en grand nombre, et sans doute proche de la Terre. C'est le paradoxe de Fermi. Une explication simple de cette situation étonnante, qui propose donc une solution au paradoxe de Fermi, est qu'il est plus facile à un programmeur de simuler un univers où une seule vie est présente que de simuler un univers où un grand nombre de vies diverses seraient présentes.

Un autre argument auquel on pourrait penser s'appuie sur le principe qu'un monde simulé est basé sur du traitement d'informations discrètes, et possède donc une réalité pixelisée. Or, contrairement aux méthodes continues de la physique classique, la physique moderne décrit un certain nombre de phénomènes comme discrets et reposant sur des quantas de lumière, d'énergie, etc. Certaines théories de gravité quantique (qui tentent de concilier la mécanique quantique et la relativité générale) prévoient même que l'espace-temps, lui-même, serait discret. N'est-ce pas un indice en faveur de la conclusion de Nick Bostrom?

Un second argument lié à la mécanique quantique fait quant à lui écho à une idée présentée en 2022 par le physicien Melvin Vopson, médiatique défenseur de la thèse de la simulation, chercheur à l'université de Portsmouth, en Angleterre. L'intrication quantique veut que les propriétés de deux particules, même éloignées, puissent être très fortement liées, d'une manière que la physique classique ne peut pas expliquer. Ainsi, en effectuant une mesure sur

## UN TEST CONCRET?

**L**es travaux d'Alexandre Bibeau-Delisle et Gilles Brassard renforcent l'idée de John Barrow selon laquelle nous vivons probablement dans une simulation. Les chercheurs notent que, dans les jeux informatiques que nous connaissons, lorsque deux objets qui doivent entrer en collision passent l'un à travers l'autre, le trouble qui en résulte rompt le sentiment d'immersion du joueur. L'erreur inverse d'une trajectoire bloquée en l'absence d'obstacle est tout aussi gênante. À l'intérieur d'une simulation, ce type de défauts trahiraient des lois physiques instables et/ou contradictoires, laissant percevoir le caractère artificiel du monde.

La cohérence de ce que nous observons serait donc le premier test pouvant aider à déterminer si nous vivons ou non dans une simulation. Melvin Vopson, chercheur à l'université de Portsmouth et auteur du livre *Reality Reloaded: The Scientific Case for a Simulated Universe*, publié en 2023 et consacré à l'hypothèse de la simulation, évoque dans la continuité de cette idée un argument pratique. Pour lui, le fait que la lumière ait, dans notre Univers, une vitesse finie trahirait les contraintes techniques auxquelles font face les êtres supérieurs à l'origine de la simulation dans laquelle nous vivons: cette vitesse indépassable serait liée au débit maximal d'informations de la machine qui nous simule.

l'une des particules d'un couple de particules intriquées, on impose immédiatement à l'autre une contrainte sur son état... et cela quelle que soit la distance qui sépare les deux particules! L'effet est instantané, et donc plus rapide que la vitesse de la lumière. Ces phénomènes, révélés par les expériences d'Alain Aspect dans les années 1980, démontrent en réalité la nature non locale de la mécanique quantique. Mais comment expliquer que dans notre Univers qui, lui, est local (les informations s'y propagent de proche en proche, avec la vitesse de la lumière comme limite), un phénomène non local comme l'intrication quantique puisse exister? Une explication assez simple de cette situation est l'hypothèse d'un monde simulé, car dans ce cas, deux points distants l'un de l'autre dans le modèle peuvent être proches dans la machine qui les simule.

En 2008, Brian Whitworth, de l'université Massey, en Nouvelle Zélande, remarque que certaines difficultés graves rencontrées en physique cesseraient de l'être avec l'hypothèse de la simulation: «Si la matière, la charge, l'énergie et le mouvement sont des formes indirectes d'information, les nombreuses lois de conservation s'unifieraient en une seule loi de conservation de l'information plus simple à concevoir; la création de l'univers lors du Big Bang ne serait plus paradoxale, car tout système virtuel doit avoir un début. De plus, l'idée d'une réalité virtuelle pourrait éviter les difficultés à concilier théorie de la relativité et la théorie quantique.» Plus généralement, et même si c'est un argument un peu trop facile, toute chose incompréhensible ou difficile à expliquer dans notre monde – la matière noire, l'énergie sombre, l'inflation cosmique, etc. – pourrait



## À VOIR

Dans la trilogie de films *Matrix* des Wachowski, Neo, un jeune hacker, découvre que son univers est en fait une simulation créée par des machines intelligentes qui exploitent les humains inconscients, plongés dans leur monde virtuel, pour produire de l'électricité. Avec un groupe de résistants, il combattra cette « Matrice » pour tenter de libérer les humains de cette condition.

être vue comme un défaut de la simulation que les êtres qui ont écrit le programme n'ont pas vu, ont été indifférents à corriger ou incapables de le faire (voir l'encadré 2).

### ... ET DES ARGUMENTS CONTRE

On peut trouver aussi de nombreux arguments contredisant l'hypothèse que nous serions dans une simulation. Il y a plus de cent ans, le philosophe et logicien Bertrand Russell en a repoussé l'idée en utilisant le principe du rasoir d'Ockham, selon lequel les théories les plus simples sont toujours préférables. Pour lui, «il n'y a pas d'impossibilité logique à supposer que toute notre vie est un rêve [...], pourtant, même si c'est logiquement possible, il n'y a aucune raison de présumer que c'est vrai, car c'est une hypothèse moins simple, si on cherche un moyen de rendre compte des faits de notre propre vie, que l'hypothèse de bon sens selon laquelle il y a réellement des objets indépendants de nous, dont l'action sur nous est la cause de nos sensations».

L'argument est cependant un peu trop général, et doit être renforcé. Le physicien américain Frank Wilczek, lauréat du prix Nobel de Physique en 2004, en propose une version intéressante en 2020: il considère très improbable que nous soyons dans une simulation à cause de l'inutile complexité de notre Univers. Pour lui: «Notre monde contient beaucoup de complexité cachée sans intérêt. Nous pouvons calculer les propriétés d'un proton sur la base des lois fondamentales, mais ces calculs sont extrêmement compliqués. Concevoir un monde simulé à partir d'ingrédients aussi difficiles à calculer serait une mauvaise stratégie.» L'idée peut être largement développée, et d'ailleurs l'utilisation du paradoxe de Fermi, évoqué plus haut pour argumenter en faveur de la thèse selon laquelle nous sommes dans une simulation, se trouve alors retourné. En effet, si les concepteurs de la simulation n'ont pas introduit d'autres formes de vies ailleurs que sur Terre parce que cela simplifiait les calculs, pourquoi donc ont-ils conçu un univers avec notre Soleil au milieu de plus d'une centaine de milliards d'autres étoiles composant notre galaxie, elle-même une galaxie parmi les au moins deux mille milliards d'autres galaxies de l'univers observable? Que de complications autour et loin de nous, qui exigeraient une puissance de calcul colossale pour les êtres à l'origine de notre simulation! Une simulation comportant un univers observable plus petit n'aurait-elle pas pu fournir un résultat similaire pour la Terre, à moindre coût?

Autre élément: l'hypothèse que notre espace-temps serait discret, mentionnée plus haut, ne fait pas l'unanimité. La physicienne allemande Sabine Hossenfelder, en particulier, souligne dans un papier de 2013 qu'avec



## Dans certains cas, les raisonnements reposent sur trop de paramètres inconnus

cette hypothèse, on s'attendrait à observer des violations des symétries continues dans les équations de la relativité restreinte. En effet, une structure discrète de l'espace-temps ne peut être conciliée avec certaines symétries (de Lorentz), intimement liées à la relativité restreinte d'Einstein. Des indices de violations des symétries de Lorentz pourraient donc être un signe que l'espace-temps est discret. Or des astrophysiciens ont utilisé les données d'observatoires spécialisés dans les rayons cosmiques, comme l'observatoire spatial *Fermi*, ou *HESS*, en Namibie, pour tenter de mettre en évidence ces violations de symétries... sans succès. Cette absence d'observation constitue un argument contre l'idée que notre monde serait discret, et donc contre la thèse de la simulation.

En conclusion, on remarquera que quelle que soit la rigueur qu'on a tenté de mettre dans les raisonnements tentant de définir si nous sommes ou non dans une simulation, on ne peut éviter de les fonder sur une multitude d'hypothèses, faciles à retourner pour aboutir à la conclusion opposée à celle qu'on prétendait défendre. Il est amusant d'explorer toutes les questions possibles qu'on peut se poser sur la nature de notre réalité, surtout si l'on s'impose de rester le plus près possible de l'état de l'art des divers domaines scientifiques concernés. Mieux: c'est parfois en adoptant une telle attitude que la science progresse. Dans certains cas, cependant, il est prématuré de le faire, car les raisonnements reposent sur trop de paramètres inconnus, qui ne peuvent être rigoureusement évalués. Les considérations sur le discret et le continu, sur le coût inutile de la simulation d'autres vies ou des parties éloignées de la Terre, l'introduction de l'idée des simulations imbriquées les unes dans les autres sont, parmi d'autres, des points qui enrichissent le jeu, mais ils rendent impossible aujourd'hui toute conclusion. ■

### BIBLIOGRAPHIE

**M. Vopson**, The second law of infodynamics and its implications for the simulated universe hypothesis, *AIP Advances*, 2023.

**M. Vopson**, How to test if we're living in a computer simulation, *The Conversation*, 2022.

**A. Bibeau-Delisle et G. Brassard**, Probability and consequences of living inside a computer simulation, *Proceedings of the Royal Society*, 2021.

**F. Wilczek**, Are we living in a simulated world?, *The Wall Street Journal*, 2020.

**S. Hossenfelder**, No, we probably don't live in a computer simulation, article du blog Backreaction, 2017.

**J. Barrow**, Living in a simulated universe, *Cambridge University Press*, 2014.

**B. Whitworth**, The physical world as a virtual reality: a prima facie case, *arXiv preprint*, 2008.

**N. Bostrom**, Are we living in a computer simulation?, *The Philosophical Quarterly*, 2003.