

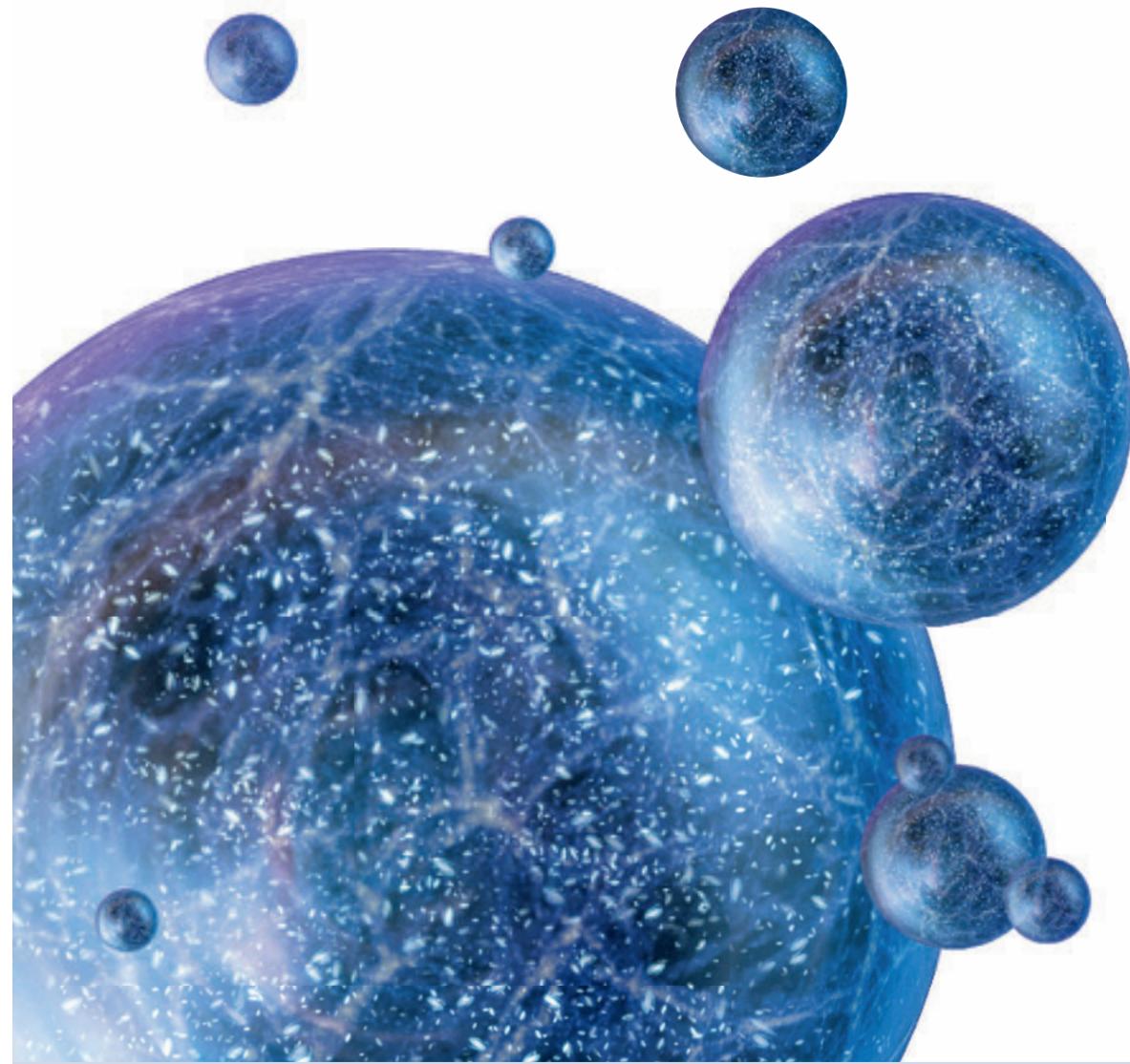
La physique peut-elle démontrer l'existence d'univers parallèles ?

La notion d'univers multiples apparaît comme une conséquence possible de la physique quantique et de la cosmologie. Pour certains physiciens, ces univers inobservables relèvent de facto de la science-fiction et doivent être écartés. Pour d'autres, cette hypothèse est trop importante pour être éludée. Mais est-elle réellement indémontrable ? En remontant à la notion d'hypothèse scientifique, il est possible d'établir les conditions nécessaires à la découverte de mondes parallèles.



Baptiste Le Bihan
PHILOSOPHE,
UNIVERSITÉ DE
GENÈVE, SUISSE
*Ses recherches portent
essentiellement sur la
philosophie théorique
(des sciences et de la
physique, métaphysique).*

► *Le monde dans lequel nous vivons n'est peut-être qu'un univers parmi une infinité d'autres. Telle est, par exemple, l'hypothèse de l'approche des mondes multiples élaborée par le physicien américain Hugh Everett.*



Il existe une multitude d'autres réalités que la nôtre qui, ensemble, constituent un multivers. C'est tout du moins la thèse avancée depuis les années 1960 par de nombreux physiciens. Ces multivers apparaissent dans différents contextes, notamment en cosmologie avec le modèle de l'inflation éternelle, dans l'approche des mondes multiples de la mécanique quantique ou encore dans la théorie des cordes. Certaines de ces théories décrivent des réalités très semblables à notre propre univers, et incluent des homologues de nous faisant des choses similaires. D'autres, au contraire, impliquent l'existence d'univers dotés de lois de la nature différentes. Ces autres réalités sont-elles une affaire sérieuse, scientifique, ou avons-nous basculé, avec cette idée, dans le domaine de la science-fiction et de la spéculation ? La physique pourrait-elle vraiment nous apprendre

scientifiques. Dans le camp adverse, on trouve pourtant de nombreux physiciens pour soutenir que nous vivons dans un multivers ou, au moins, qui prennent très au sérieux cette hypothèse. On peut citer les Américains Sean Carroll, du California Institute of Technology, Max Tegmark, du Massachusetts Institute of Technology, ou encore David Wallace, de l'université de Pittsburgh. Alors, qu'en penser ? L'idée qu'il puisse exister d'autres réalités est-elle scientifiquement fondée ? La physique fondamentale possède-t-elle vraiment ce pouvoir de se prononcer, de manière éclairée, sur l'existence d'autres réalités ?

Pour répondre à cette question, il est utile de s'interroger plus largement : qu'est-ce qu'une hypothèse scientifique ? Les philosophes des sciences associent généralement deux conditions à ce statut. La première, attachée au nom de l'épistémologue autrichien Karl Popper (1902-1994), est qu'une hypothèse, pour être qualifiée de scientifique, doit être réfutable. Toutefois, un tel principe est insuffisant car, sinon, toute hypothèse fantaisiste et aisément réfutable serait scientifique. Cela nous amène à la seconde condition de scientificité. Une hypothèse scientifique doit également offrir une bonne explication des données accumulées jusqu'à présent et aider à résoudre des énigmes qui persistaient jusqu'alors – un point mis en avant par le philosophe des sciences américain Thomas Kuhn (1922-1996). Idéalement, une hypothèse scientifique satisfait à la fois les deux conditions de la réfutabilité et du caractère explicatif. Cependant, il arrive qu'une hypothèse soit une bonne explication sans être présentement réfutable, ce qui doit nous amener à relativiser l'idée que ces deux critères sont, à strictement parler, des conditions nécessaires de la scientificité d'une hypothèse.

Prenons l'exemple de la révolution copernicienne, qui mena l'humain à comprendre que la Terre est en orbite autour du Soleil. L'héliocentrisme n'a pas été immédiatement testé empiriquement. La première démonstration observationnelle que la Terre est en mouvement est ainsi souvent attribuée au Britannique James Bradley dans les années 1725-1728, à travers la mise en évidence de l'aberration de la lumière (*). Cette démonstration n'est devenue

Une hypothèse scientifique doit à la fois être réfutable et avoir un caractère explicatif

un jour que nous vivons dans un multivers ? Si vous interrogez des physiciens sur ce point, vous obtiendrez des réponses très diverses. Parmi ceux décriant l'idée, on trouve Sabine Hossenfelder, spécialiste de la gravité quantique à l'Institute for Advanced Studies de Francfort, en Allemagne. Elle a pour cheval de bataille d'attirer l'attention de la société sur un problème de spéculation excessive, selon elle, au sein des fondements de la physique théorique, spéculation qui s'exerce notamment à travers cette idée d'autres réalités. Elle écrit ainsi : « *Croire au multivers est logiquement équivalent à croire en Dieu. [...] Ils sont inobservables par hypothèse. [...] Vous pouvez y croire si vous le souhaitez, mais ils ne font pas partie de la science.* » (1) L'idée est, en somme, que si ces autres univers sont par essence inobservables, alors ils ne peuvent légitimement prétendre intervenir au sein d'hypothèses

possible qu'avec l'essor de la nouvelle mécanique d'Isaac Newton, introduite dans son ouvrage *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687), qui a permis de développer plus en détail le modèle héliocentrique et de le soumettre à des observations, et de finalement vaincre les résistances de l'Église. Cette dernière interdisait en effet jusqu'alors de voir dans le modèle héliocentrique autre chose qu'une utile hypothèse de calcul.

Avant l'essor de la mécanique newtonienne et alors que l'héliocentrisme était appréhendé par les spécialistes comme la meilleure explication des données accumulées, il était difficile de savoir s'il serait un jour possible et, si oui, comment, de vérifier empiriquement une telle hypothèse. Cela met en lumière qu'une hypothèse, ou plus largement une théorie, peut être scientifique en l'absence d'une trajectoire toute tracée pour la soumettre à l'épreuve du réel. C'est le cas si elle apparaît comme une explication satisfaisante des données accumulées et qu'elle possède le potentiel d'être soumise à des tests dans le futur.

DEUX POSTULATS INCOMPATIBLES

Les multivers peuvent-ils légitimement apparaître comme une hypothèse scientifique ? Prenons un exemple précis de multivers : l'approche des mondes multiples élaborée par le physicien américain Hugh Everett (1930-1982). Il s'agit de l'hypothèse selon laquelle le monde dans lequel nous vivons n'est qu'un univers parmi une infinité d'autres (2). Cette idée vise à prendre à bras-le-corps une difficulté fondamentale au cœur de la mécanique quantique : le problème de la mesure. Celui-ci est, dans les grandes lignes, un problème de cohérence interne du formalisme quantique.

La mécanique quantique repose en effet sur deux postulats incompatibles. Premièrement, le monde obéit à l'équation de Schrödinger, certaines de ses parties se trouvant dans des états de superposition lorsqu'aucune mesure n'est prise. Toutefois, un second postulat de la « méthode quantique » est que le monde cesse d'obéir à cette équation dès que l'on effectue une mesure – les propriétés des systèmes physiques, telles que la localisation, semblant alors prendre des

valeurs définies. Cependant, puisqu'une mesure est forcément un processus physique, l'équation de Schrödinger devrait continuer de s'y appliquer (lire l'article p. 28). L'approche des mondes multiples résout le problème en affirmant que l'apparence de la violation de l'équation de Schrödinger lors de la mesure n'est qu'une illusion de perspective, liée à notre localisation dans une réalité particulière au sein de la multitude d'univers qui existent. Lorsque l'on effectue une mesure, ce n'est pas tant que le monde cesse d'être déterministe, mais qu'on découvre dans quelle branche on se trouve au sein d'une pluralité de mondes.

Les théories de l'effondrement spontané répondent au problème de la mesure d'une autre manière. Il s'agit d'un ensemble de théories dont la plus connue est la théorie GRW, du nom de ses inventeurs Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini et Tullio Weber, proposée en 1986 (3). Assez différentes entre elles, elles ont en commun de modifier l'équation de Schrödinger en lui ajoutant un nouveau terme. Celui-ci exprime la très faible probabilité que possède tout objet quantique microscopique de spontanément prendre une localisation dans l'espace. Plus un système est « grand », c'est-à-dire plus il est constitué d'un grand nombre d'éléments, plus il possède une probabilité élevée d'être localisé, en additionnant les faibles probabilités que possède chaque élément du système de prendre une localisation. Par conséquent, les systèmes macroscopiques possèdent une probabilité extrêmement élevée d'être localisés, ce qui fait qu'en pratique, ces derniers sont toujours localisés. En somme, seuls les petits systèmes quantiques peuvent avoir un défaut de localisation observable.

DÉTECTOR DES RADIATIONS

Les versions les plus récentes de ces modèles, en modifiant l'équation de Schrödinger, se voient associer une signature empirique spécifique, différente des autres théories de la mécanique quantique, et donc en particulier de l'approche des mondes multiples. L'effondrement de la fonction d'onde, d'après ces modèles, produit une faible quantité de radiation, que l'on peut tenter de détecter à l'aide d'expériences

(*) **L'aberration de la lumière** se traduit par le fait que la direction apparente d'une source de lumière dépend de la vitesse relative, de la même façon que la direction de la pluie semble changer selon que vous êtes fixe, en train de marcher ou de courir.

POUR EN SAVOIR PLUS

- Thomas S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, 2018 (pour la dernière édition française).
- Thomas Lepeltier, *Univers parallèles*, Seuil, 2010.
- Karl R. Popper, *La Logique de la découverte scientifique*, Payot, 2017 (pour la dernière édition française).
- J. Read et B. Le Bihan, *Synthèse*, 199, 7749, 2021.

sophistiquées. Des expérimentateurs s'emploient actuellement à tester ces modèles au laboratoire national du Gran Sasso, en Italie (4). Il possède la particularité d'être enfoui sous une montagne qui fait barrage aux rayonnements cosmiques et facilite la détection d'éventuels rayonnements subtils associés à l'effondrement de la fonction d'onde. Or corroborer une théorie de l'effondrement spontané reviendrait à exclure l'approche des mondes multiples – et les autres approches de la mécanique quantique – en invalidant l'équation de Schrödinger. Le multivers de la mécanique quantique possède ainsi la marque royale de la scientifcité en étant réfutable.

DES RÉALITÉS ALTERNATIVES QUI S'INFLUENT

Pour ce qui est de l'autre marque de la scientifcité, le pouvoir explicatif, le multivers quantique permet de résoudre de nombreuses difficultés. En un sens, l'approche des mondes multiples possède l'immense avantage de prendre à la lettre ce que nous dit le formalisme mathématique quantique. Les équations décrivent des situations alternatives possibles qui influent parfois les unes sur les autres ? Eh bien, c'est qu'elles correspondent à des réalités alternatives qui influent les unes sur les autres. L'exemple du multivers quantique montre que des hypothèses scientifiques peuvent raisonnablement faire intervenir d'autres réalités. De surcroît, il paraît risqué de prétendre savoir à l'avance ce qui est du domaine du connaisable et ce qui ne l'est pas, alors que l'histoire de la physique est marquée par de nombreuses révélations fracassantes.

En fait, nous pourrions bien être, à l'égard du multivers, dans la même situation que les scientifiques du XVI^e siècle s'interrogeant sur le fait de savoir s'il sera possible, un jour, de déterminer si la Terre tourne autour du Soleil. La physique pourrait donc nous apprendre un jour qu'il existe d'autres réalités... ■

(1) tinyurl.com/religion-not-science

(2) David Wallace, *The Emergent Multiverse*, Oxford University Press, 2012.

(3) G. C. Ghirardi *et al.*, *Phys. Rev. D*, 34, 470, 1986.

(4) S. Donati *et al.*, *Nature Physics*, 17, 74, 2021.

Le prodigieux succès de l'applicabilité des mathématiques

Pourquoi les mathématiques s'appliquent-elles si bien au monde réel ? Sont-elles une description vraie de ce qui nous entoure ou uniquement un outil efficace ? Ces questions ont pris au XIX^e siècle un tour bien plus aigu. Désormais, les philosophes de la pratique mathématique étudient des cas concrets pour trouver des réponses.



Jimmy Degroote
PHILOSOPHE,
PARIS
Doctorant en philosophie des sciences, il poursuit ses travaux dans le cadre du projet ERC Philiumm, au laboratoire Sphere (CNRS, Université Paris Cité).

a question de savoir pourquoi les mathématiques s'appliquent efficacement à la réalité est très récente dans l'histoire de la philosophie. Contrairement à une idée tenace, il est peu probable qu'elle tire son origine de la découverte, par les pythagoriciens, des nombres irrationnels – le fait que le nombre $\sqrt{2}$ ne s'écrive pas comme le quotient de deux nombres entiers – et de la prétendue « crise » qui l'aurait suivie. D'après les sources à notre disposition, ces derniers embrassaient en effet une vision mystique du monde. Ils croyaient que tous les phénomènes physiques étaient gouvernés par les entiers naturels et les proportions. Dans ces conditions, on voit mal comment l'utilisation des nombres pour appréhender les choses aurait pu constituer une difficulté à leurs yeux. À tout prendre, l'irréductibilité de certaines grandeurs aux entiers naturels devait plutôt poser aux Grecs le problème inverse : comment comprendre que la science de la réalité qu'était l'arithmétique élémentaire fût incapable d'exprimer tous les objets de la géométrie ? Était-ce à dire que la diagonale du carré n'était pas une grandeur réelle ? Ces questions étaient