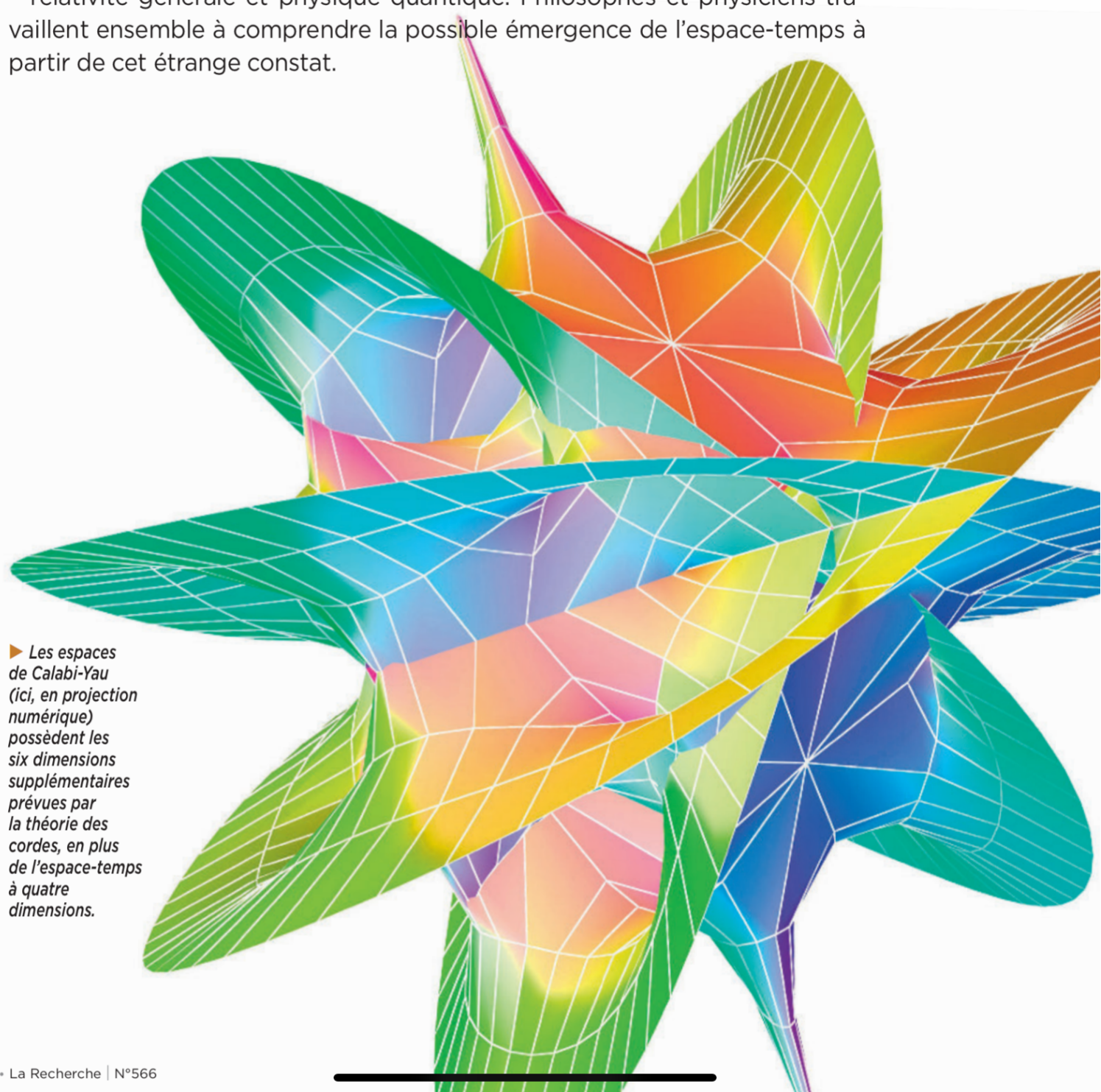

Philosophie et gravité quantique

Quelle réalité donner à l'espace-temps ? Si cette notion est au centre de la relativité générale, elle disparaît dans certaines approches de la gravité quantique qui tentent de concilier deux visions du monde jusqu'ici incompatibles – relativité générale et physique quantique. Philosophes et physiciens travaillent ensemble à comprendre la possible émergence de l'espace-temps à partir de cet étrange constat.



► Les espaces de Calabi-Yau (ici, en projection numérique) possèdent les six dimensions supplémentaires prévues par la théorie des cordes, en plus de l'espace-temps à quatre dimensions.



Baptiste Le Bihan
PHILOSOPHE,
UNIVERSITÉ
DE GENÈVE,
SUISSE

Ses recherches portent essentiellement sur la philosophie théorique (des sciences et de la physique, métaphysique). Il travaille

sur un projet portant sur la métaphysique de l'espace, du temps, et l'émergence dans ce contexte de la gravité quantique.

L'espace-temps existe-t-il ? Le cas échéant, de quoi est-il constitué ? Et s'il n'existe pas, pourquoi la physique décrit-elle si bien notre monde à l'aide de ce concept ? Pour répondre à ces questions, une stratégie consiste à examiner nos meilleures théories physiques empiriquement confirmées, comme le modèle standard de la physique des particules, et surtout la relativité générale, la théorie de la gravitation mise au point par Einstein en 1915. En effet, cette dernière délivre un message précis sur la nature de l'espace et du temps. Et c'est elle qui requiert de remplacer nos concepts intuitifs d'espace et de temps par un concept commun d'espace-temps courbe, les durées, les distances et la force de gravitation s'expliquant alors comme des propriétés géométriques de cet espace-temps. On pourrait donc, au premier abord, vouloir se tourner vers la relativité générale pour déterminer si l'espace-temps existe réellement, et examiner sa nature. Toutefois, la relativité générale et le modèle standard de la physique des particules ne font pas bon ménage, et les physiciens se sont attelés au développement d'une théorie physique plus fondamentale qui devrait avoir d'importantes répercussions sur notre compréhension de la nature de l'espace-temps. Ainsi, un autre angle de vue pour répondre à nos questions consiste à examiner les approches plus spéculatives qui visent à dépasser les faiblesses de ces cadres théoriques, et en particulier leur difficile compatibilité. Ces approches en construction, qui répondent collectivement au nom de

« gravité quantique », incluent, pour n'en citer que quelques-unes, la théorie des cordes, la gravité quantique à boucles ou la théorie des ensembles causaux. Ces démarches tentent de décrire les phénomènes à la fois quantiques et gravitationnels ; c'est par exemple le cas du centre des trous noirs, mais aussi de l'espace-temps lui-même.

DES QUESTIONNEMENTS D'ORDRES MÉTHODOLOGIQUE ET ONTOLOGIQUE

La physique est ainsi un tout constitué de multiples sous-communautés. Il est utile de garder en particulier à l'esprit l'existence de deux parties de la physique : la physique empiriquement confirmée, incluant la relativité et la physique des particules, d'une part, et la physique spéculative de la gravité quantique, d'autre part. Ces deux sous-communautés constituent deux types de physique très différents. En utilisant la distinction de l'historien et philosophe des sciences américain Thomas Kuhn (1922-1996) entre science paradigmatique et science révolutionnaire, on peut décrire la situation actuelle comme la cohabitation d'une science paradigmatique attachée à développer les résultats d'un paradigme qui a fait ses preuves – un paradigme peut s'appréhender en première approche comme une manière de voir le monde physique, une sorte de monde intellectuel comme le paradigme newtonien, ou le paradigme de la chimie moderne – et d'une science révolutionnaire qui s'attache à la recherche d'un cadre explicatif plus fondamental. Dans le cas de la physique fondamentale, cette science révolutionnaire n'est autre que la gravité quantique telle que définie ci-dessus.

Le domaine de la gravité quantique est lui aussi morcelé, comme on l'a vu, car il existe de multiples directions possibles à explorer pour faire avancer la physique fondamentale, avec différents enseignements sur la nature de l'espace-temps, et il est bien sûr impossible de savoir quelle approche se révélera fructueuse. Face à cette situation compliquée, les philosophes ont leur utilité. On peut citer deux grands types de difficultés propres à la physique fondamentale qui soulignent le caractère potentiellement fructueux d'un travail collaboratif entre philosophes et physiciens dans un tel contexte.

La théorie de l'univers-bloc ne prend pas parti sur la forme même de la réalité physique ni sur le caractère fini ou infini de l'espace-temps

Un premier type de difficultés est méthodologique : quels sont les principes méthodologiques qui doivent guider le développement de la physique ? Par exemple, une théorie physique fondamentale doit-elle être valide à toutes les échelles d'énergie ou peut-elle se restreindre à certains domaines de description ? Un deuxième type de difficultés est ontologique et porte sur l'ontologie des théories, ou formalismes mathématiques développés – l'ontologie est le nom savant qui réfère à ce qui est, ce qui existe. Dans ce contexte, il s'agit de savoir comment est le monde, ce qui le constitue, si la théorie ou le formalisme mathématique considéré décrit adéquatement la réalité. Or, les approches de la gravité quantique n'admettent pas toujours une ontologie claire. C'est par exemple le cas lorsque ces dernières semblent nier l'existence de l'espace, du temps ou de l'espace-temps.

Qu'il s'agisse des problèmes méthodologiques ou ontologiques, que peuvent apporter les philosophes ? Ils ont une expertise dans l'évaluation des principes méthodologiques, d'une part, et dans l'analyse et la production des concepts, d'autre part. D'où l'utilité de

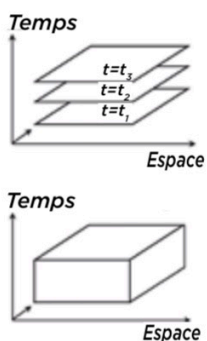
mettre en place une nouvelle communauté dans le milieu de la recherche, spécialisée dans les discussions philosophiques de thèmes et d'aspects de la gravité quantique : la philosophie de la gravité quantique. Plusieurs projets philosophiques actuellement menés à l'université de Genève, en Suisse, et au sein de l'université de l'Illinois à Chicago, aux États-Unis, les projets « Beyond Spacetime » et « Composing the World Out of Nowhere » (« Au-delà de l'espace-temps » et « Composer le monde à partir de nulle part ») participent à la matérialisation de cette communauté. Ils impliquent des philosophes et des physiciens, et ont donné lieu à plusieurs résultats.

Quels sont ces résultats et que nous disent donc ces différentes approches de la gravité quantique de l'existence et de la nature de l'espace-temps ? Avant de nous tourner vers la gravité quantique, il est utile d'examiner d'abord la description donnée par la relativité générale de l'espace-temps pour pouvoir ensuite nuancer cette caractérisation à l'aune de celles offertes par la gravité quantique.

La relativité, que ce soit dans sa version restreinte ou générale, suggère que nous vivons dans un espace-temps plus fondamental que l'espace et que le temps, usuellement appréhendés comme des dimensions distinctes. Ainsi, notre monde n'est pas un système d'objets matériels localisés dans l'espace et évoluant dans le temps. Et le temps n'est pas un paramètre universel externe au monde et permettant d'enregistrer son évolution. Le temps, tout autant que l'espace, est une dimension structurante, interne, du monde physique.

PASSÉ, PRÉSENT ET FUTUR COEXISTENT COMME LES LIEUX DANS L'ESPACE

Les conséquences philosophiques sont nombreuses. La première est l'éternalisme : ce que nous appréhendons comme le passé, le présent et le futur coexiste de la même manière que les choses localisées en différents lieux. Pour comprendre cette idée, songez à l'espace et à la manière qu'ont les choses d'exister dans l'espace. Il est naturel d'envisager que les endroits autres que celui où nous nous trouvons actuellement existent au même titre que



▲ Alors que nous avons le sentiment que le temps s'écoule en temps successifs, l'univers-bloc est un univers statique qui englobe passé, présent et futur, sans écoulement.

ce dernier. Par exemple, ce n'est pas parce que vous vous trouvez actuellement à votre domicile que votre lieu de travail ou la ville de Sydney n'existent pas. Leur présence en d'autres lieux au sein de la dimension spatiale ne rend pas ces endroits moins réels. En remplaçant la notion d'espace par la notion d'espace-temps, il devient naturel d'appliquer le même raisonnement au temps ou, plus exactement, à l'espace-temps. Ainsi, l'extinction des dinosaures ou votre anniversaire de l'année prochaine ont, dans cette approche, une même réalité.

L'APPORT DE LA THÉORIE DES CORDES ET DE LA GRAVITÉ QUANTIQUE À BOUCLES

La deuxième conséquence est une thèse du non-écoulement du temps, l'écoulement n'étant qu'un artefact de notre façon d'être situé dans le temps, sans avoir de contrôle sur notre localisation en son sein. La différence que nous faisons entre le présent, le passé et le futur est purement subjective, et résulte d'un découpage naturel relativement à notre localisation de l'espace-temps en trois « zones temporelles de réalité » : notre passé, notre présent et notre futur. Ces deux propositions constituent la thèse de l'univers-bloc. Ce modèle de l'univers-bloc ne doit pas être interprété littéralement cependant. Il ne s'agit pas de soutenir que le monde physique possède la forme d'un cube. Cette comparaison est là uniquement pour souligner l'épaisseur temporelle du monde physique : de la même manière que le monde possède trois dimensions spatiales, qu'on peut représenter par un cube pour illustrer ces trois dimensions par les largeur, hauteur et profondeur d'un objet, dans cette représentation, les trois dimensions spatiales sont réduites à deux – la largeur et la profondeur du cube –, et la dimension temporelle est figurée par la hauteur du cube. Ainsi, la théorie de l'univers-bloc prend au sérieux la notion d'espace-temps sans prendre parti sur la forme même de la réalité physique ni sur le caractère fini ou infini de l'espace-temps.

Toutefois, cette approche « réaliste » de l'espace-temps, suggérée par la physique relativiste, semble elle-même menacée par la physique théorique de demain. Et, fait intéressant,

il ne s'agit pas de revenir en arrière vers une approche plus intuitive postulant l'existence séparée de l'espace et du temps, mais d'aller encore plus loin dans le rejet de nos intuitions préthéoriques à propos de la nature de l'espace et du temps, en soutenant que le bloc espace-temps lui-même pourrait être une illusion ou une structure émergeant à un certain niveau de description. Pour le comprendre, examinons certains aspects des deux approches les plus populaires (en termes du nombre de physiciens travaillant au sein de ces programmes de recherche) : la théorie des cordes et la gravité quantique à boucles.

Il existe en fait plusieurs théories des cordes, et celles-ci sont conjecturées comme étant des approximations d'une théorie plus fondamentale : la théorie M. Ces théories des cordes possèdent dix dimensions, et la théorie M une de plus. Ce qui signifie qu'il existe, selon ces théories, en plus de l'espace-temps à quatre dimensions, six ou sept autres dimensions « exotiques » qu'on ne peut pas saisir à l'aide d'images mentales, mais simplement appréhender à travers des descriptions mathématiques.

Pour en revenir à ce fameux bloc, il semble que notre imagination soit mal équipée pour saisir cette idée de dimensions supplémentaires. Il était déjà difficile de se représenter le temps comme une dimension, mais si on ajoute des dimensions spatiales nombreuses et invisibles, la difficulté monte d'un cran. Ces dimensions, dans nos descriptions mathématiques, peuvent avoir des caractéristiques variées, notamment en étant enroulées sur elles-mêmes de diverses manières. L'espoir au sein de la communauté cordiste est que l'un de ces espaces mathématiques se révélera être le « bon » modèle. Toutefois, si on peut être tenté de voir là une simple redéfinition de la notion d'espace-temps en lui ajoutant des dimensions supplémentaires, certains résultats mathématiques interdisent une telle interprétation en soulignant que des espaces aux formes très différentes mènent aux mêmes conséquences, suggérant ainsi que ces espaces des cordes n'existent pas vraiment et constituent un artefact mathématique (1).

Une seconde approche de la gravité quantique est la gravité quantique à boucles. Celle-ci appréhende la réalité comme une collection

POUR EN SAVOIR PLUS

■ Baptiste Le Bihan, *Qu'est-ce que le temps ?*, Vrin, 2019.

■ Nick Huggett, Keizo Matsubara et Christian Wüthrich (dir.), *Beyond Spacetime: The Foundations of Quantum Gravity*, Cambridge University Press, 2020.

■ Christian Wüthrich, Baptiste Le Bihan et Nick Huggett (dir.), *Philosophy Beyond Spacetime: Implications from Quantum Gravity*, Oxford University Press (à paraître).

■ www.tinyurl.com/LeBihan-Multivers

Conférence filmée de Baptiste Le Bihan : « La physique peut-elle nous apprendre que nous vivons dans un multivers ? »

(1) E. Witten, *Physics Today*, 49, 24, 1996.

(2) N. Huggett et C. Wüthrich, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 44, 276, 2013.