

> entier comportera donc un nombre énorme de branches, correspondant chacune à un monde possible pouvant découler de l'état initial. Les probabilités quantiques déterminent donc des résultats en cosmologie aussi bien que dans les processus microscopiques. Le multivers et les mondes multiples quantiques sont en réalité une seule et même chose; ils correspondent simplement au même phénomène (la superposition d'états) qui se produit à des échelles complètement différentes.

Dans ce nouveau cadre, notre monde n'est qu'un seul parmi tous les mondes qu'autorisent les principes fondamentaux de la physique quantique et qui existent simultanément dans l'espace des probabilités.

Afin de savoir si cette idée est correcte, nous aimerions la tester expérimentalement. Mais est-ce réalisable? Peut-être en mesurant la courbure spatiale de notre univers. En 2005, Leonard Susskind et ses collègues ont montré que le multivers engendre une petite quantité de courbure négative dans notre univers. En d'autres termes, à grande échelle, la géométrie serait comparable en trois dimensions à la surface d'une selle de cheval. Il pourrait en effet exister une telle courbure parce que, même si les univers-bulles sont finis vus dans la perspective du multivers entier, les observateurs à l'intérieur d'une bulle, qui voient leur univers comme étant infiniment grand, le percevraient doté d'une courbure négative.

UN TEST: LA COURBURE DE L'UNIVERS

Les indications dont nous disposons à l'heure actuelle suggèrent un cosmos plat. Mais, dans les prochaines décennies, de futures observations du fond diffus cosmologique, le rayonnement émis par l'Univers vers 380 000 ans d'âge, permettront de mesurer avec une précision accrue la courbure.

Si ces expériences détectent une courbure légèrement négative, elles étayeront le concept de multivers parce que, bien qu'une telle courbure soit techniquement possible dans un univers unique, elle y est peu plausible. Et une éventuelle découverte de courbure négative renforcerait particulièrement l'idée de multivers quantique décrite ici, parce que ce scénario conduit naturellement à une courbure assez grande pour être détectée, alors que le tableau inflationnaire classique du multivers tend à produire une courbure négative inférieure de plusieurs ordres de grandeur à tout ce que nous pouvons espérer mesurer. Chose intéressante, la découverte d'une courbure positive réfuterait complètement la notion de multivers, parce que la théorie de l'inflation implique que les univers-bulles ne peuvent produire une telle courbure.

Par ailleurs, si nous avons de la chance, nous pourrions même voir dans le fond diffus

cosmologique des signes spectaculaires du multivers, sous la forme de vestiges d'une «collision» de notre univers-bulle avec un autre. Mais les chercheurs sont peu optimistes que nous détecterons un jour de tels signaux.

Avec d'autres physiciens, je travaille aussi à développer l'idée de multivers quantique au niveau théorique. Nous pouvons poser des questions fondamentales telles que

Dans ce cadre théorique, le temps apparaît comme un concept émergent

«Comment peut-on déterminer l'état quantique du multivers entier?» ou «Qu'est-ce que le temps, et comment émerge-t-il?». Le tableau du multivers quantique ne répond pas immédiatement à ces questions, mais il fournit un cadre pour les traiter.

Récemment, par exemple, j'ai montré que certaines contraintes mathématiques sur les probabilités issues de notre théorie nous permettront peut-être de déterminer l'état quantique unique du multivers entier. Ces contraintes suggèrent aussi que l'état quantique global reste constant même si un observateur physique, qui fait partie de l'état du multivers, voit de nouvelles bulles se former sans cesse. Cela implique que notre conscience d'un univers qui change au fil du temps, et en fait la notion même de temps, pourrait être une illusion. Le temps, dans cette optique, est un concept émergent, quelque chose qui surgit d'une réalité plus fondamentale et qui semble n'exister que dans les branches locales du multivers.

Beaucoup des idées que je viens de présenter sont encore très spéculatives, mais il est passionnant que les physiciens soient en mesure de réfléchir à ces grandes et profondes questions sur la base des avancées théoriques actuelles. Où ces explorations nous mèneront-elles? Il semble clair en tout cas que nous vivons une ère exaltante dans laquelle nos explorations scientifiques vont au-delà de ce que nous pensions être le monde physique entier – notre univers – pour atteindre un domaine potentiellement sans limites au-delà. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Guth et Y. Nomura, **What can the observation of a nonzero curvature tell us?**, *Phys. Rev. D*, vol. 86, 023534, 2012.

R. Bousso et L. Susskind, **Multiverse interpretation of quantum mechanics**, *Phys. Rev. D*, vol. 85, 045007, 2012.

Y. Nomura, **Physical theories, eternal inflation, and the quantum universe**, *Journal of High Energy Physics*, vol. 2011, n° 11, article 063, 2011.