

> « dans un univers éternellement en inflation, tout ce qui peut arriver arrive; en fait, tout arrive un nombre infini de fois ».

Dans un univers unique où les événements se produisent un nombre limité de fois, les chercheurs peuvent calculer la probabilité relative qu'un événement se produise plutôt qu'un autre en comparant les nombres de fois que ces événements se produisent. Mais dans un multivers où tout se produit un nombre infini de fois, un tel décompte est impossible et, dès lors, rien n'a plus de chances de se produire que le reste. On peut faire les prédictions que l'on veut, elles sont amenées à se réaliser dans l'un ou l'autre univers, mais cela ne nous renseigne en rien sur ce qui va se passer dans notre propre univers.

Cette absence d'efficacité prédictive dérange depuis longtemps les physiciens. Certains chercheurs, dont je fais partie, suggèrent que la théorie quantique (qui décrit le comportement des particules aux plus petites échelles) pourrait, ironiquement, indiquer la voie de la solution. Plus précisément, le scénario cosmologique d'un univers en éternelle inflation serait mathématiquement équivalent à l'interprétation des « mondes multiples » de la physique quantique. Cette idée est très spéculative, mais, comme nous le verrons, une telle connexion entre les deux théories donne des

Dans le multivers, tout ce qui peut se réaliser se réalise un nombre infini de fois

pistes pour résoudre le problème des prédictions, mais pourrait aussi révéler des informations surprenantes sur l'espace et le temps.

L'idée d'une correspondance entre les deux théories m'est venue alors que je travaillais sur les principes de l'interprétation des mondes multiples de la physique quantique. Cette interprétation a vu le jour pour expliquer certains des aspects les plus étranges et contre-intuitifs de la physique quantique: cause et effet ne s'articulent pas comme dans le monde macroscopique qui nous est familier, et le résultat de tout processus y est toujours probabiliste. Pour l'illustrer, prenons l'exemple d'un ballon qu'on lance.

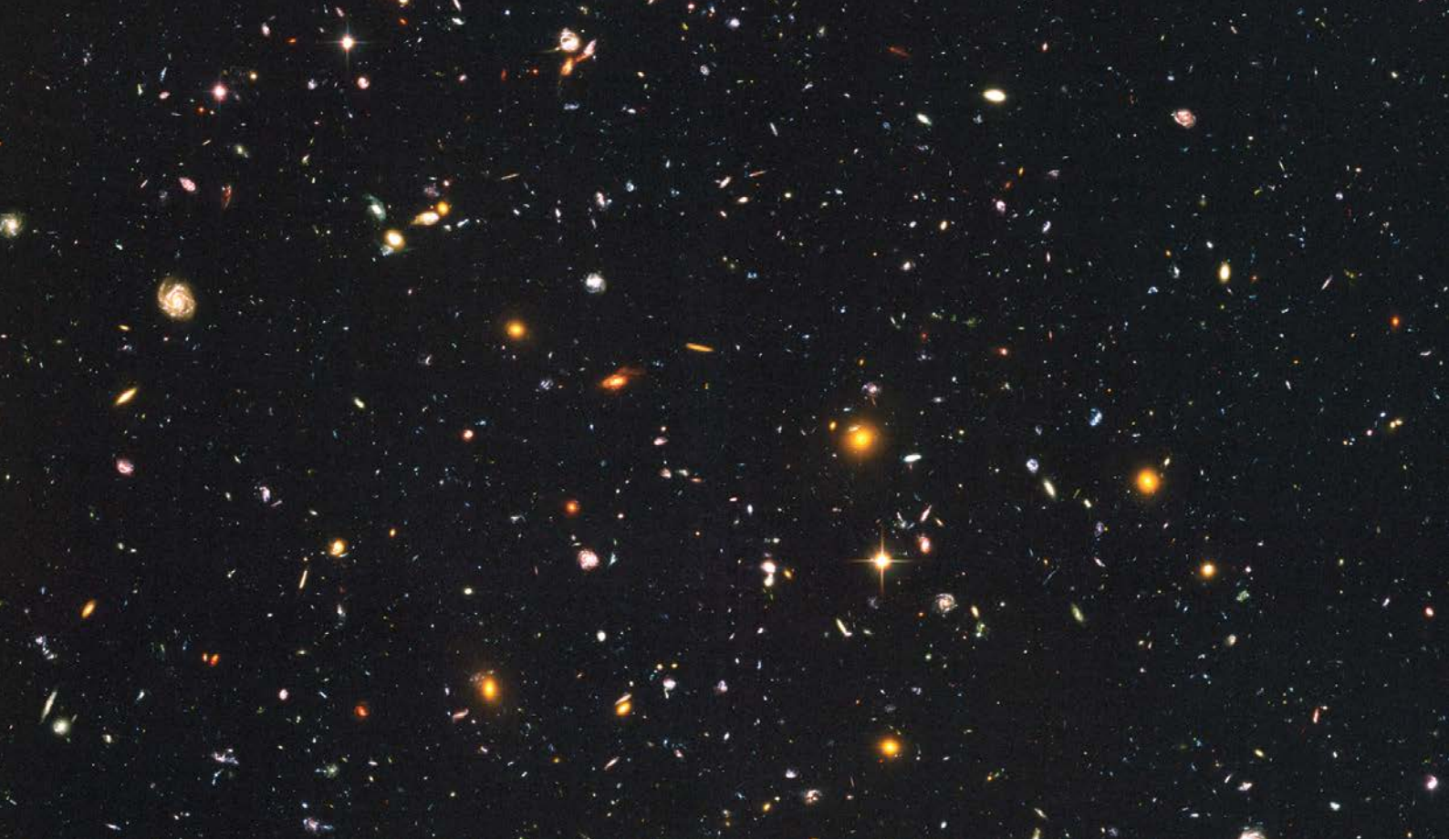
Dans notre vécu macroscopique, nous pouvons prédire où le ballon va atterrir en prenant en compte le point d'où il a été lancé, sa vitesse et d'autres paramètres. Si ce ballon était une particule quantique, tout ce que nous pourrions dire est qu'il a une certaine probabilité d'atterrir à tel endroit ou à un autre. Ce caractère probabiliste ne peut pas être éliminé par une meilleure connaissance des courants d'air ou autres facteurs liés au ballon; c'est une propriété intrinsèque de la nature. Le même ballon quantique lancé plusieurs fois exactement dans les mêmes conditions atterrira parfois au point A et parfois au point B. Cette conclusion paraît étrange, mais d'innombrables expériences ont confirmé les lois de la physique quantique, indispensables pour décrire le comportement des particules et des forces subatomiques.

LE CASSE-TÊTE DE LA MESURE QUANTIQUE

Dans le monde quantique, nous disons qu'une fois le ballon lancé, mais avant de chercher à voir son point de contact avec le sol, il est dans un état de superposition des résultats A et B, c'est-à-dire qu'il n'est ni dans l'état A ni dans l'état B, mais dans un brouillard probabiliste de A et de B à la fois. Mais une fois que nous regardons ce que devient le ballon, nous le trouvons en un point (disons A), et toute autre personne qui examine le ballon confirmera elle aussi qu'il se trouve bien en A. En d'autres termes, avant qu'un système quantique ne soit mesuré, son résultat est incertain, mais dès qu'il est mesuré, toutes les mesures ultérieures trouveront le même résultat que la première.

Dans l'interprétation habituelle, dite de Copenhague, de la physique quantique, on explique ce basculement en disant que la première mesure a fait passer le système de l'état de superposition à l'état A. Mais tout en prédisant correctement le résultat des expériences de laboratoire, l'interprétation de Copenhague mène à de sérieuses difficultés conceptuelles. Que signifie réellement la « mesure », et pourquoi fait-elle passer le système d'un état de superposition de possibilités à un état de certitude unique? Ce changement d'état se produit-il quand un chien ou une mouche observe le système? Et que se passe-t-il quand une molécule de l'air interagit avec le système, ce qui doit se produire tout le temps mais que nous ne traitons généralement pas comme une mesure susceptible d'interférer avec le résultat? Est-ce que le fait qu'un être humain apprenne consciemment l'état du système revêt une importance particulière?

En 1957, Hugh Everett, alors étudiant en thèse à l'université de Princeton, a proposé une nouvelle interprétation de la physique quantique, dite des mondes multiples. Elle traite de façon très élégante le problème, même si, à l'époque, beaucoup la tournaient en ridicule, et



l'idée a toujours à l'heure actuelle nettement moins d'adeptes que l'interprétation de Copenhague. L'intuition clé d'Everett est que l'état d'un système quantique reflète l'état de l'intégralité de l'univers qui l'entoure, de telle sorte que nous devons inclure l'observateur dans une description complète de la mesure. En d'autres termes, nous ne pouvons pas considérer le ballon, la main qui le lance et le vent séparément du reste, nous devons aussi inclure dans la description fondamentale la personne qui vient inspecter le point d'impact avec le sol, ainsi que tout le reste du cosmos à cet instant.

UN UNIVERS QUI SE DÉDOUBLE

Dans ce contexte, l'état quantique après la mesure est encore une superposition, mais pas juste la superposition de deux points d'impact : celle de deux mondes entiers ! Dans le premier monde, l'observateur trouve que le ballon est au point A, et par conséquent tout observateur situé dans ce monde-là obtiendra le résultat A lors de chaque nouvelle mesure. Mais au moment de la mesure, l'univers s'est dédoublé et dans le second univers, l'observateur trouve, mesure après mesure, que le ballon est tombé au point B. Cette propriété explique pourquoi l'observateur a l'impression que sa première mesure a modifié l'état du système ; ce qui se passe en réalité, c'est que quand il fait une mesure, il se dédouble lui-même en deux personnes différentes qui vivent dans deux univers parallèles correspondant à deux résultats distincts.

Dans l'idée d'Everett, les humains qui font les mesures n'ont pas d'importance

particulière. L'état du monde entier se ramifie continuellement en de nombreux univers parallèles qui coexistent en superposition. Un observateur humain, faisant partie de la nature, ne peut échapper à ce cycle : il ne cesse de se diviser en de nombreux observateurs qui vivent dans des mondes parallèles et qui sont tous aussi « réels » les uns que les autres. Une implication évidente mais importante de ce scénario est que tout, dans la nature, obéit aux lois de la physique quantique, les petites choses comme les grandes.

Mais quel rapport y a-t-il entre cette interprétation de la physique quantique et le multivers issu de l'inflation éternelle, qui semble exister dans un espace réel continu et non comme des réalités parallèles ? En 2011, j'ai suggéré que le multivers et les mondes quantiques multiples à la Everett sont, d'une certaine façon, un seul et même concept. Dans cette approche, l'espace infiniment grand associé à l'inflation éternelle est une sorte d'illusion : les nombreux univers-bulles de l'inflation ne cohabitent pas physiquement dans un unique espace réel, mais représentent les différentes branches sur l'arbre des probabilités des mondes multiples d'Everett.

À peu près au moment où je faisais cette proposition, Raphael Bousso, de l'université de Californie à Berkeley, et Leonard Susskind, de l'université Stanford, ont avancé une idée assez similaire. Si elle est confirmée, l'interprétation des mondes multiples appliquée au multivers signifierait que les lois de la physique quantique jouent aussi un rôle crucial dans la détermination

Cette photographie du champ ultraprofond du télescope spatial Hubble montre des galaxies jusqu'à 13 milliards d'années-lumière de nous. Du fait de l'expansion de l'Univers, des objets beaucoup plus lointains s'éloigneraient de nous à des vitesses supérieures à celle de la lumière. Aucun photon ne parviendrait jusqu'à nous depuis ces objets, inaccessibles à jamais. Cet « horizon cosmologique » a des implications importantes pour la théorie du multivers.

>