

→ Steven Weinberg

Non. La relativité restreinte s'inscrivait dans tout ce qui était déjà connu théoriquement et expérimentalement à la fin du XIX^e siècle, à savoir la théorie électromagnétique de Maxwell, et le fait que personne ne parvenait à découvrir les effets de l'« éther » dont on supposait qu'il remplissait tout l'espace. Si j'avais eu la chance d'inventer la relativité restreinte en 1905, j'aurais ressenti comme Einstein que cette théorie ne pouvait qu'être juste.

Je ne ressens pas les choses de la même façon à propos de la supersymétrie. Cette théorie a quelques succès mineurs à son actif : elle améliore la prédiction d'un paramètre crucial du modèle standard ; elle fournit un candidat naturel pour les particules de matière noire ; elle a aussi la très séduisante propriété d'être la seule symétrie susceptible d'unifier des particules comme les bosons faibles avec des particules comme les électrons. Mais rien de cela n'est assez impressionnant pour me convaincre que la supersymétrie est nécessairement juste.

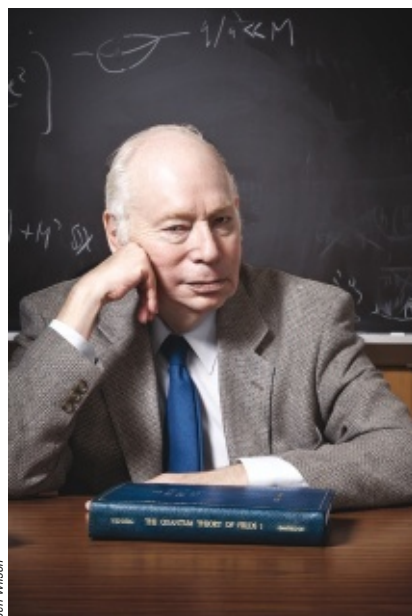
→ Vous avez avancé que le principe anthropique – l'idée que certains aspects de notre Univers n'ont pas d'explication plus profonde que le fait que nous vivons dans une partie particulièrement habitable d'un domaine plus vaste – est notre meilleure explication de la densité d'énergie sombre, cette mystérieuse substance responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers. Pouvez-vous nous en parler ?

→ Steven Weinberg

Nous spéculons beaucoup sur ce que nous considérons comme fondamental, par exemple la masse des particules, les différentes interactions, les trois dimensions d'espace flanquées d'une dimension de temps, mais il se pourrait que tout cela ne soit pas fondamental, mais lié à notre environnement. L'Univers pourrait être beaucoup plus grand que nous ne l'avons imaginé, et englober beaucoup plus que le Big Bang observé autour de nous. Il pourrait comprendre différentes parties – par « parties », je désigne diverses choses pos-

sibles – dotées de propriétés très différentes et où ce que nous nommons les principes fondamentaux de la nature pourraient être différents, et où même les dimensions d'espace et de temps seraient différentes. Il devrait y avoir un grand principe sous-jacent qui décrit l'ensemble, mais il se pourrait que soyons bien plus loin de le découvrir que nous ne l'imaginons aujourd'hui.

Quand j'ai commencé à écrire sur ce sujet en 1987, j'avais l'esprit complètement



Steven WEINBERG, prix Nobel de physique en 1979 pour sa contribution à la théorie électrofaible, est physicien théoricien à l'Université du Texas à Austin (États-Unis).

Ses propos ont été recueillis par Amir ACZEL, chercheur à l'Université de Boston et écrivain.

ouvert – et c'est toujours le cas aujourd'hui – quant aux diverses façons dont on pourrait concevoir ces parties de l'Univers, avec des propriétés telles que des densités d'énergie sombre différentes. Une des pistes est l'inflation chaotique d'Andrei Linde, qui suppose de nombreux Big Bang se produisant épisodiquement ici ou là, chacun étant caractérisé par des valeurs différentes des paramètres tels que la densité d'énergie sombre.

Comme Stephen Hawking le décrit (voir l'article de S. Hawking et L. Mlodinow dans

ce numéro), l'Univers pourrait être une superposition quantique de plusieurs états, comparables au célèbre chat de Schrödinger (un chat à la fois vivant et mort imaginé par Erwin Schrödinger pour exprimer la notion de superposition quantique d'états). Ainsi, comme il est possible en théorie quantique qu'un chat se trouve dans deux états à la fois, l'un où il est vivant, l'autre où il est mort, il en va peut-être de même pour l'Univers. Dans l'état où le chat est vivant, le chat sait qu'il est vivant, et dans l'autre état il ne sait rien du tout. De même, il y aurait des états de l'Univers comportant des chercheurs explorant ce qui leur semble être l'Univers entier, et d'autres états où peut-être l'Univers est trop petit ou évolue trop vite, et où il n'y a personne pour l'explorer.

Les arguments anthropiques prédisent que la densité de l'énergie sombre doit être assez faible pour que puissent se former des galaxies, mais pas trop, parce que les univers où elle est nettement plus petite sont rares. Un calcul que j'ai effectué en 1998 avec deux astrophysiciens de l'Université du Texas à Austin, Hugo Martel et Paul Shapiro, suggérait que toute énergie sombre devrait être en quantité assez importante pour qu'on la découvre bientôt. Et peu de temps après, les astronomes découvraient son existence.

→ Vous faites le lien entre deux communautés différentes de physiciens : ceux qui font de la cosmologie et de la relativité générale, et ceux qui font de la physique des particules et de la théorie quantique. Cette double expertise vous aide-t-elle à voir comment unifier ces deux domaines ?

→ Steven Weinberg

Pour le moment, je ne vois aucune direction d'unification. J'aurais certainement aimé en voir. J'ai des idées sur les voies possibles vers l'unification, qui me viennent de la physique expérimentale des particules, mais il est beaucoup trop tôt pour dire si ces idées ont un rapport quelconque avec la réalité.

On présente souvent la théorie des cordes comme la seule façon de traiter le problème des infinis apparaissant en théorie

quantique de la gravitation, mais une alternative existe, fondée sur des théories quantiques des champs du même type général que celle utilisée dans le modèle standard. Cette idée, que j'ai nommée protection asymptotique, affirme que l'intensité des forces évolue vers des valeurs finies aux hautes énergies : elles y sont empêchées (protégées) d'atteindre l'infini.

Cette idée a longtemps stagné parce qu'il est difficile de montrer que les théories sont ou ne sont pas asymptotiquement protégées. J'ai fait des calculs préliminaires, que j'ai trouvés encourageants, mais leur poursuite était trop difficile, et j'ai travaillé sur d'autres choses. Puis, un peu avant 2000, un certain nombre de chercheurs en Europe se sont emparés du sujet, et ils ont établi la protection asymptotique dans diverses approximations et montré qu'elles sont

mathématiquement aussi bien définies que le modèle standard.

→ En quoi cette approche est-elle différente de la théorie des cordes ?

→ Steven Weinberg

Elle procède à l'opposé de ce que l'on fait en théorie des cordes. Dans cette dernière, on abandonne la théorie quantique des champs usuelle pour inventer quelque chose de vraiment nouveau. La théorie des cordes est un grand pas dans une direction nouvelle. La protection asymptotique consiste plutôt à partir du fait que la bonne vieille théorie des champs, celle avec laquelle nous travaillons depuis 60 ou 70 ans, est tout ce dont nous avons besoin.

Je ne vais pas faire particulièrement l'article en faveur de la protection asymptotique.

S'il devait s'avérer que la vérité est du côté de la théorie des cordes, je ne serais pas surpris. Cette théorie est belle du point de vue mathématique. La protection asymptotique n'est qu'une possibilité qui vaut aussi la peine d'être explorée sérieusement.

Jusqu'à présent, aucune de ces deux approches n'a débouché sur une percée, comme le serait le calcul des paramètres du modèle standard, dont les valeurs (précises) sont données sans explication. Comprendre pourquoi les masses des particules présentent les rapports qu'on leur connaît serait le véritable test. Ces masses sont une énigme comparable à un texte dans une écriture ancienne telle que le linéaire A : nous avons le texte, mais nous ignorons sa signification.

S. Weinberg, *Lake Views : This World and the Universe*, Belknap Press, 2010.

Et tout s'éclaire

france culture

La marche des sciences
14h/15h jeudi

avec Aurélie Luneau
en partenariat avec le magazine Pour la Science

franceculture.com

DREAM ON - Radio France / Christophe Abramowitz

L'insaisissable théorie unifiée

Stephen Hawking et Leonard Mlodinow

Les physiciens recherchent une théorie décrivant de façon unifiée les quatre interactions fondamentales. Mais ils auront peut-être besoin de plusieurs théories...

L'ESSENTIEL

✓ Nous modélisons la réalité physique à partir de ce que nous voyons du monde, qui dépend de nous et de notre point de vue. Dès lors, un « réalisme dépendant du modèle » semble préférable au réalisme absolu habituel en physique.

✓ Or la théorie des cordes, candidate préférée des physiciens au titre de la théorie du Tout, se présente sous cinq formulations différentes, valables chacune dans certaines conditions.

✓ Des liens mathématiques relient toutefois ces cinq théories en un réseau, nommé théorie M. Cette dernière est-elle la théorie tant recherchée ?

Le conseil municipal de Monza, en Italie, a interdit un jour de mettre les poissons rouges dans des bocaux ronds. C'est pure cruauté, ont justifié les édiles, car cela impose aux pauvres poissons une vision déformée de la réalité. Pour curieuse qu'elle soit, cette anecdote pose une intéressante question philosophique : comment savons-nous que la réalité que nous percevons est vraie ? Celle que voit le poisson diffère de la nôtre, mais est-elle pour autant moins réelle ?

En physique, cette question n'est pas gratuite. Les physiciens et les cosmologistes se trouvent dans une situation similaire à celle du poisson rouge : depuis des décennies, ils s'efforcent de mettre au point une « théorie ultime du Tout », c'est-à-dire un ensemble complet et cohérent de lois fondamentales capable d'expliquer tous les aspects de la réalité. Or voilà qu'il apparaît que cette quête pourrait conduire non pas à une théorie unique, mais à toute une famille de théories reliées, chacune décrivant sa propre version de la réalité, comme si elle voyait l'Univers depuis son propre bocal...

Cette idée est difficile à accepter, y compris pour nombre de physiciens. La plupart des gens croient en l'existence d'une réalité objective et extérieure, et au fait que nos sens et notre science nous renseignent directement sur le monde

matériel. La science classique est fondée sur la conviction qu'il existe un monde extérieur, dont les propriétés sont bien définies et indépendantes de l'esprit de l'observateur. En philosophie, cette doctrine se nomme « réalisme ».

Ceux qui se souviennent de Timothy Leary (un psychologue américain partisan de l'usage thérapeutique du LSD) et des années 1960 savent qu'il y a une autre possibilité : la conception de la réalité peut dépendre de l'esprit de celui qui la perçoit. À des différences subtiles près, ce point de vue se décline sous les noms d'antiréalisme, d'instrumentalisme ou encore d'idéalisme. Dans ces doctrines, le monde que nous connaissons est construit par l'esprit humain à partir de la matière brute des données sensorielles, et il est mis en forme par le cerveau. Ce point de vue peut sembler difficile à



© Shutterstock/Tschemko 17114

accepter, mais pas à comprendre. S'agissant de notre perception du monde, il n'existe aucun moyen de supprimer l'observateur – c'est-à-dire nous.

Les développements de la physique sont tels que le réalisme devient difficile à défendre. En physique classique (la physique newtonienne, qui décrit bien nos expériences quotidiennes), l'interprétation de termes tels qu'« objet » et « position » est pour l'essentiel en harmonie avec notre compréhension « réaliste », de bon sens, de ces concepts. Mais nous sommes des instruments de mesure grossiers. Les physiciens ont découvert que les objets qui nous entourent et la lumière grâce à laquelle nous les voyons sont constitués d'objets (tels les électrons et les photons) que nous ne percevons pas directement. Ces objets ne sont pas régis par les lois de la physique classique, mais par celles de la théorie quantique.

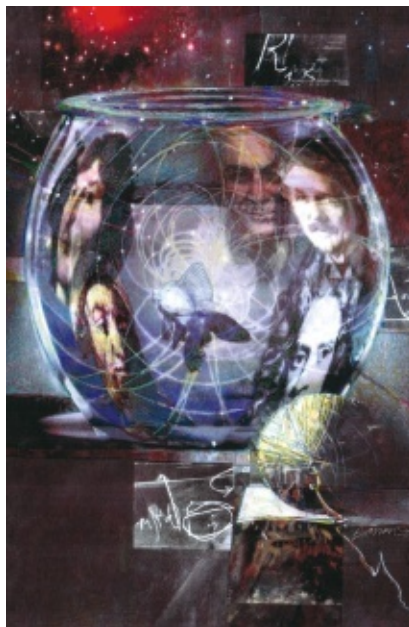
La réalité de la théorie quantique est en rupture radicale avec celle de la physique classique. En théorie quantique, les particules n'ont ni position définie ni vitesse définie avant qu'un observateur ne mesure ces quantités. Dans certains cas, des objets individuels n'ont même pas d'existence indépendante, mais existent seulement en tant que partie d'un ensemble. La physique quantique a aussi des implications importantes sur notre conception du passé. Alors que la physique classique voit le passé comme une série définie d'événements, en physique quantique le passé, comme le futur, n'existent qu'en tant qu'éventail de possibilités. Même l'Univers dans son ensemble n'a pas de passé unique. La physique quantique implique donc une réalité différente de celle de la physique classique, même si cette dernière correspond à notre intuition et nous est fort utile pour construire des immeubles ou des ponts.

Ces exemples nous amènent à une conclusion importante : il n'y a pas de concept de réalité indépendant de toute représentation ou théorie. C'est pourquoi nous préconisons plutôt un « réalisme dépendant du modèle ». Dans cette vision, une théorie physique ou une représentation du monde n'est qu'un modèle et un ensemble de règles qui relient les éléments du modèle aux observations. Il est alors vain de se demander si un modèle est réel ; il importe seulement qu'il soit en accord avec les observations. Si deux modèles sont compatibles avec les

observations, aucun des deux ne peut être considéré plus réel que l'autre.

Plusieurs réalités selon le point de vue ?

L'idée de réalités alternatives est l'un des piliers de la culture populaire moderne. Par exemple, dans le film *Matrix*, les hommes vivent sans le savoir dans une réalité virtuelle créée par des ordinateurs intelligents ; le but de ces machines est de maintenir les humains dans une léthargie satisfaite et paisible, afin de pouvoir pomper leur « énergie bioélectrique » (allez savoir ce que c'est...). Le film pose une



COMME UN POISSON ROUGE dans son bocal, nous sommes enfermés dans un point de vue sur l'Univers. Nous pouvons modéliser ce qui se passe hors du bocal, mais sans nous affranchir de notre point de vue. Dès lors, il est peut-être inévitable que la quête d'une théorie du Tout produise plusieurs solutions, impossibles à unifier sans la possibilité d'un regard... extérieur à l'Univers ?

bonne question : comment pouvons-nous être sûrs que nous ne sommes pas des êtres peuplant un monde factice ?

Si nous vivions dans un monde synthétique imaginaire, les événements s'y déroulant n'auraient pas nécessairement de logique ou de cohérence, ou n'obéiraient pas forcément à des lois. Les maîtres nous contrôlant pourraient trouver intéressant ou amusant de tester nos réactions, par exemple en nous faisant brus-

quement décider de tous haïr le chocolat, ou que la guerre est inévitable, mais rien de cela n'est arrivé. Si ces maîtres supposés imposaient des lois cohérentes, nous n'aurions aucun moyen de savoir qu'il existe une autre réalité derrière la réalité simulée. Il est facile d'étiqueter le monde des maîtres comme « réel », et le monde engendré par ordinateur comme « faux ». Mais, si (comme nous), les êtres du monde virtuel ne pouvaient voir dans leur univers depuis l'extérieur, quelles raisons auraient-ils de mettre en doute leur propre vision de la réalité ?

Les poissons rouges sont dans une situation identique. Depuis leur bocal courbe, ils ne voient pas la même chose que nous qui regardons du dehors, mais ils pourraient néanmoins formuler des lois gouvernant le mouvement des objets extérieurs au bocal. Par exemple, puisque la lumière est défléchie en passant de l'air à l'eau, un objet qui est pour nous sur une trajectoire rectiligne serait perçu par le poisson rouge comme décrivant une trajectoire courbe. Depuis leur référentiel déformé, les poissons savants pourraient formuler des lois toujours vérifiées et autorisant des prédictions sur le mouvement des objets extérieurs au bocal. Leurs lois seraient plus compliquées que dans notre référentiel, mais la simplicité est une question de goût ! Si les poissons rouges formulaient une telle théorie, nous devrions admettre que leur vision est une représentation valable de la réalité.

Un exemple concret et célèbre de représentations différentes de la réalité est le contraste entre le modèle du cosmos de Ptolémée (centré sur la Terre) et celui de Copernic (centré sur le Soleil). On a beau dire que Copernic a donné tort à Ptolémée, cela n'est pas vrai. Comme dans le cas de notre vision opposée à celle du poisson rouge, on peut utiliser l'une ou l'autre représentation comme modèle de l'Univers, parce que nous pouvons expliquer nos observations de la voûte céleste indifféremment en supposant que la Terre ou que le Soleil est au repos. En dépit de son rôle dans les débats philosophiques sur la nature de notre Univers, le véritable avantage du système copernicien est que les équations du mouvement sont beaucoup plus simples dans le référentiel où c'est le Soleil qui est au repos.

Le réalisme dépendant du modèle s'applique non seulement aux modèles scientifiques, mais aussi aux modèles men-