

La renaissance du temps

Lee Smolin

La renaissance du temps

*Pour en finir avec la crise
de la physique*

Traduit de l'anglais (États-Unis)
par Morvan Salez

EKHO

The original edition of this work has been published
in English in 2013 by Houghton Mifflin Harcourt,
under the title *Time Reborn*.

L'édition originale de cet ouvrage a été publiée en anglais
en 2013 par Houghton Mifflin Harcourt,
sous le titre *Time Reborn*.

Copyright © 2013 by Lee Smolin. All rights reserved.

Couverture : Delphine Dupuy

Nouvelle édition corrigée

© Dunod, 2014 pour la traduction française, 2016,
2019 pour la présente édition
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-079738-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

*À mes parents, Pauline et Michael
Avec tous mes remerciement à Roberto Mangabeira Unger
pour un voyage partagé*

« Toutes choses naissent l'une de l'autre
et disparaissent l'une en l'autre
selon la nécessité...
en se soumettant à l'ordre du temps. »

Anaximandre, *De la Nature*

AVANT-PROPOS

Qu'est-ce que le temps ?

Cette question que l'on croit simple arrive en tête des problèmes les plus importants que rencontre la science lorsque nous sondons les fondements intimes de l'univers.

Tous les mystères auxquels sont confrontés les physiciens et les cosmologistes – du big bang au destin de l'univers, des casse-tête de la physique quantique à l'unification des forces et des particules – nous conduisent à la nature du temps.

Les progrès de la science ont été marqués par la dissipation d'illusions. La matière nous apparaît lisse mais en réalité est constituée d'atomes. Les atomes paraissent indivisibles mais on les sait construits à partir de protons, de neutrons et d'électrons, les deux premières particules étant constituées de particules encore plus élémentaires appelées quarks. Nous voyons le Soleil poursuivre sa course autour de la Terre, mais c'est l'opposé qui est vrai – et quand on approfondit la question, il s'avère que tout se déplace relativement à tout le reste. Le temps est l'aspect le plus omniprésent de notre expérience de tous les jours. Chaque chose que nous pensons, ressentons ou faisons, nous rappelle son existence. Nous percevons le monde comme un flux d'instantanés qui construisent notre vie.

Mais aussi bien les physiciens et les philosophes nous disent depuis longtemps (et de nombreuses personnes

pensent) que le temps est l'illusion ultime. Quand je demande à mes amis non scientifiques ce qu'ils pensent de la nature du temps, ils me répondent souvent que son passage est illusoire et que tout ce qui est véritablement réel – la vérité, la justice, le divin, les lois scientifiques – se trouvent en dehors. L'idée que le temps soit une illusion est un lieu-commun de la philosophie et des religions. Pendant des millénaires, les humains se sont réconciliés avec la dureté de l'existence et notre mortalité en se convaincant de la possibilité d'une éventuelle échappée vers un monde libéré du temps et plus réel. Certains de nos penseurs les plus illustres affirment la non-réalité du temps. Platon, le plus grand des philosophes du monde antique, et Einstein, le plus grand des physiciens du monde moderne, nous ont l'un et l'autre enseigné une vision de la nature dans laquelle le réel est intemporel.

Ils virent notre expérience du temps comme un accident de notre condition d'êtres humains – un accident qui nous cache la vérité. Tous deux pensaient que l'illusion du temps doit être transcendée si nous voulons percevoir le réel et le vrai. J'ai longtemps cru dans la non-réalité de l'essence du temps. En effet, si adolescent je me suis orienté vers la physique, c'est parce que j'aspirais à troquer le monde des humains, prisonnier du temps, que je voyais comme affreux et inhospitalier, contre un monde de vérité pure et intemporelle. Plus tard dans ma vie, j'ai découvert que c'était plutôt cool d'être humain, et le besoin d'une fuite dans la transcendance s'est éloigné. Pour être plus précis, je ne crois plus que le temps est irréel. En fait, j'ai adopté la vision exactement inverse : non seulement le temps est réel, mais rien de ce dont nous faisons l'expérience ou avons connaissance, ne saurait s'approcher plus près du cœur de la nature que la réalité du temps.

Les raisons de mon *volte-face** se trouvent dans la science – et, particulièrement, dans les développements contemporains de la physique et de la cosmologie. J'en suis venu à penser que le temps est la clef du sens de la théorie quantique et de son éventuelle unification avec l'espace, le temps, la gravité et la cosmologie. Plus important encore, je crois que pour rendre intelligible la vision de l'univers que les observations cosmologiques nous donnent, nous devons appréhender la réalité du temps d'une façon nouvelle. C'est ce que j'entends par renaissance du temps.

Une grande partie de ce livre établit les arguments scientifiques pour croire dans la réalité du temps. Si vous êtes de ceux, nombreux, qui pensent que le temps est une illusion, mon objectif est de vous faire changer d'avis. Si vous croyez d'ores et déjà que le temps est réel, j'espère vous procurer des raisons supplémentaires d'y croire. Ce livre est pour tout le monde, parce qu'il n'y a pas une personne dont la réflexion sur le monde ne soit pas bâtie sur la manière dont elle voit le temps. Même si vous n'avez jamais réalisé sa signification, votre réflexion – le langage même qui exprime vos pensées – est colorée par des idées métaphysiques très anciennes.

Quand nous adopterons le point de vue révolutionnaire que le temps est réel, la manière dont nous pensons à tout le reste sera transformée. En particulier, nous aurons tendance à voir le futur d'une façon autre, qui soulignera avec intensité les opportunités comme les dangers que rencontre l'espèce humaine.

Une petite partie de l'histoire de ce livre est l'itinéraire personnel qui m'a conduit à redécouvrir le temps. Il se peut que ma motivation initiale soit mieux décrite avec des mots

* NdT : en français dans le texte.

non pas de scientifique mais de père, à travers les conversations que j'ai eues avec mon jeune fils, surtout quand je le mets au lit à la fin d'une journée. « Papa, me demanda-t-il un jour tandis que je lui lisais une histoire, est-ce que tu avais mon nom quand tu avais mon âge ? » Voilà un enfant qui s'éveillait à l'idée qu'il y avait un temps avant lui, cherchant à raccrocher sa vie pour l'instant courte à un récit plus long.

Chaque voyage comporte une leçon, et en ce qui me concerne cela a été de réaliser à quel point une idée radicale peut être contenue dans le simple énoncé que le temps est réel. Ayant commencé ma vie scientifique en quête de l'équation au-delà du temps, je crois maintenant que le secret le plus profond de l'univers est que son essence tient dans la façon dont il se déploie dans le temps, d'instant en instant.

Il y a un paradoxe inhérent à la manière dont nous pensons le temps. Nous nous percevons comme vivant dans le temps, pourtant nous imaginons bien souvent que les meilleurs aspects de notre monde et de nous-mêmes le transcendent. Ce qui fait qu'une chose est vraiment vraie, pensons-nous, n'est pas que ce soit vrai maintenant, mais que cela fut toujours et sera toujours vrai. Ce qui confère un caractère d'absolu à un principe de moralité, est que ce dernier soit applicable en toute époque et circonstance. Nous avons comme gravée en nous l'idée que si quelque chose est de valeur, elle existe en dehors du temps. Nous avons soif « d'amour éternel ». Nous parlons de « la vérité » et de « la justice » comme intemporels. Quoi que nous admirions le plus et aspirions à atteindre – Dieu, les vérités des mathématiques, les lois de la nature – est doté d'une existence qui transcende le temps. Nous agissons à l'intérieur du temps mais jugeons nos actions à l'aune de critères extérieurs au temps.

Il découle de ce paradoxe que nous vivons dans un état de séparation de ce qui compte pour nous le plus. Cette séparation affecte chacune de nos aspirations. En science, les expériences et leurs analyses sont inscrites dans le temps, comme le sont toutes nos observations de la nature, et pourtant nous imaginons que nous mettons au jour l'évidence de lois naturelles intemporelles. Le paradoxe affecte aussi nos actions en tant qu'individus, membres d'une famille, et citoyens, parce que notre compréhension du temps détermine notre conception du futur.

Dans ce livre, j'espère résoudre d'une nouvelle manière le paradoxe que représente vivre dans le temporel et croire dans l'intemporel. Je proposerai que le temps et son écoulement sont fondamentaux et réels, tandis que les espoirs et croyances en des vérités et domaines intemporels ne sont que mythologie.

Adopter le temps signifie croire que la réalité consiste seulement de ce qui est réel à chaque instant. C'est une idée radicale, car elle nie toute forme d'existence ou de vérité intemporelle – que ce soit dans le domaine de la science, de la morale, des mathématiques, ou du gouvernement. Ces derniers doivent être re-conceptualisés, pour réajuster leurs vérités au cadre du temps.

Adopter le temps signifie aussi que nos hypothèses de base sur la façon dont fonctionne l'univers au niveau le plus fondamental sont incomplètes. Quand, dans les pages qui suivent, j'affirmerai que le temps est réel, ce que je dis c'est que :

Tout ce qui est réel dans notre univers est réel à un instant, qui est un parmi une succession d'instant. Le passé était réel mais n'est plus réel.

Nous pouvons, toutefois, interpréter et analyser le passé, parce que nous trouvons des traces de ces processus passés dans le présent.

Le futur n'existe pas encore et par conséquent est ouvert. Nous pouvons raisonnablement établir quelques prédictions, mais nous ne pouvons pas complètement prédire le futur. En effet, le futur peut produire des phénomènes qui sont authentiquement nouveaux, dans le sens qu'aucune connaissance du passé ne permettrait de les anticiper.

Rien ne transcende le temps, pas même les lois de la nature. Les lois ne sont pas intemporelles. Comme tout le reste, elles sont des attributs du présent, et elles peuvent évoluer dans la durée.

Au cours de ce livre, nous verrons que ces hypothèses pointent une nouvelle direction pour la physique fondamentale – laquelle, je prétends, est la seule issue des sacs de nœuds actuels de la physique théorique et de la cosmologie. Elles ont aussi des implications sur la façon dont nous devrions comprendre nos propres vies et aborder les défis que rencontre l'humanité.

Pour expliquer pourquoi la réalité du temps a tant de conséquences, à la fois pour la science et pour des sujets au-delà de la science, j'aime opposer dos à dos la réflexion à l'intérieur du temps et la réflexion à l'extérieur du temps. L'idée que la vérité est intemporelle et d'une certaine façon extérieure à l'univers est si infiltrée que le philosophe brésilien Roberto Mangabeira Unger l'appelle « la philosophie pérenne ». C'était l'essence de la pensée de Platon, illustrée par la parabole, dans le *Ménon*, du garçon esclave et de la géométrie d'un carré, où Socrate défend que découvrir est seulement se rappeler.

Nous pensons à l'extérieur du temps lorsque nous imaginons que la réponse à n'importe quelle question qui nous occupe se trouve là, quelque part, dans quelque domaine éternel de vérité intemporelle. Qu'il s'agisse de comment être un meilleur parent ou époux ou citoyen, ou quelle doit

être l'organisation optimale de la société, nous croyons qu'il existe dehors une vérité inaltérable attendant que nous la découvriions.

Les scientifiques pensent à l'intérieur du temps quand nous concevons notre rôle à l'image d'inventeurs de nouvelles idées permettant de décrire des phénomènes nouvellement découverts, et de nouvelles structures mathématiques permettant de les exprimer. Si nous pensons à l'extérieur du temps, nous croyons que ces idées existaient déjà avant que nous les inventions. Si nous pensons dans le temps, il n'y a aucune raison de présumer cela. Le contraste entre penser dans le temps et hors du temps est flagrant dans de nombreuses aires de la pensée et de l'action humaines. Nous pensons hors du temps quand, face à un problème technologique ou social, nous supposons que les approches possibles sont déjà déterminées, sous la forme d'un ensemble de catégories absolues et pré-existantes. Quiconque pense que la bonne théorie économique ou politique a été écrite au cours de l'avant-dernier siècle, pense hors du temps. Quand au lieu de cela, nous voyons l'objectif de la politique comme étant d'inventer de nouvelles solutions à de nouveaux problèmes qui surgissent au fur et à mesure que la société évolue, nous pensons dans le temps.

Nous pensons aussi dans le temps quand nous comprenons que le progrès dans la technologie, la société, et la science consiste à inventer des idées, des stratégies et des formes d'organisation sociale vraiment nouvelles – et avons confiance en notre aptitude à cela.

Quand nous acceptons sans remise en question les limites, les habitudes et les bureaucraties de nos diverses communautés et organisations comme si elles avaient une raison d'être dans l'absolu, nous sommes piégés hors du

temps. Nous réintégrons le temps quand nous réalisons que chaque aspect d'une organisation humaine est le résultat d'une histoire, si bien que tout ce qui la concerne est négociable et sujet à amélioration, par l'invention de nouvelles manières de faire les choses. Si nous croyons que la tâche de la physique est la découverte d'une équation mathématique intemporelle qui capture chaque aspect de l'univers, alors nous croyons que la vérité sur l'univers se niche à l'extérieur de l'univers. C'est une habitude de pensée si familière que nous échouons à voir son absurdité : si l'univers est tout ce qui existe, alors comment ce qui peut le décrire pourrait-il ne pas en faire partie ? Mais si nous acceptons la réalité du temps comme une évidence, alors il ne peut pas y avoir d'équation mathématique qui capture à la perfection chaque aspect du monde, parce qu'une propriété du monde réel que ne partage aucune équation mathématique est qu'il est toujours un moment.

L'évolution biologique darwinienne est le prototype de la pensée dans le temps, car à son cœur se trouve la réalisation que les processus naturels qui se développent dans le temps peuvent conduire à la création de structures réellement nouvelles. Même de nouvelles lois peuvent émerger, lorsque les structures auxquelles elles seront appliquées apparaissent. Les principes de la sélection sexuelle, par exemple, n'auraient pas pu exister avant que les sexes existent. La dynamique de l'évolution n'a aucun besoin de vastes espaces abstraits, tels que toutes les possibilités d'animaux viables, de séquences ADN, d'ensembles de protéines, ou de lois biologiques. Il vaut mieux, comme le biologiste théoricien Stuart A. Kauffman le propose, penser à la dynamique de l'évolution comme l'exploration dans le temps par la biosphère de ce qui peut se produire juste après : le « possible adjacent ». Il en va de même pour

l'évolution des technologies, de l'économie, et des sociétés. Penser dans le temps n'est pas du relativisme mais une forme de *relationnalisme* – une philosophie qui affirme que la description la plus juste de quelque chose consiste à spécifier ses relations avec les autres composantes du système dont il fait partie. La vérité peut être à la fois liée au temps et objective quand il s'agit d'objets qui existent une fois qu'ils ont été inventés, que ce soit par l'évolution ou par la pensée humaine.

Sur le plan personnel, penser dans le temps signifie accepter l'incertitude de la vie comme le prix incontournable pour être en vie. Se rebeller contre la précarité de la vie, rejeter l'incertitude, adopter la tolérance zéro face au risque, imaginer que la vie peut être organisée pour éradiquer le danger, c'est penser hors du temps. Être humain, c'est vivre suspendu entre le danger et la chance.

Nous faisons de notre mieux pour nous épanouir dans un monde incertain, pour prendre soin de ceux et de ce que nous aimons et occasionnellement, en y prenant plaisir. Nous planifions, mais nous ne pouvons jamais anticiper totalement les dangers ou les opportunités qui nous attendent. Les bouddhistes disent que nous vivons dans une maison dont nous n'avons pas encore remarqué qu'elle en feu. Le danger peut surgir à n'importe quel instant, et dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs il était toujours présent, mais dans la vie moderne nous avons organisé les choses de manière qu'il soit comparativement rare. Le défi de la vie est de choisir avec sagesse, parmi le nombre énorme de dangers possibles, celui qui vaut la peine qu'on s'en inquiète. C'est aussi choisir, parmi toutes les opportunités que chaque instant nous apporte, ce que nous ferons ultérieurement. Nous choisissons où investir notre énergie et notre attention – toujours à partir d'une

connaissance incomplète des conséquences. Pourrions-nous faire mieux ? Pourrions-nous contrecarrer la nature capricieuse de la vie et atteindre un état dans lequel nous saurions, peut-être pas tout, mais assez pour distinguer toutes les conséquences de nos choix – les dangers comme les chances ? Dit autrement, pourrions-nous vivre une vie réellement rationnelle, sans surprises ? Si le temps était une illusion, nous pourrions imaginer cela possible, car dans un monde où l'on pourrait se passer du temps, il n'y aurait pas de différence fondamentale entre connaissance du présent et connaissance du futur. Cela exigerait juste un peu plus d'effort de calcul. Un certain nombre, une certaine formule, pourraient être calculés et décodés pour nous dire tout ce que nous aurions besoin de savoir.

Mais si le temps est réel, le futur ne peut être déterminé à partir de la connaissance du présent. Il n'y a pas d'issue à notre situation, pas de rédemption des surprises qui découlent d'une vie dans l'ignorance de la plupart des conséquences de nos actions. La surprise est inhérente à la structure du monde. La nature peut nous balancer de l'imprévu pour lequel aucune somme de connaissance n'aurait pu nous préparer. La nouveauté est réelle. Nous pouvons créer, avec notre imagination, ce qu'aucun calcul basé sur la connaissance du présent ne saurait produire. Voilà pourquoi il importe pour chacun d'entre nous que le temps soit réel ou non : la réponse peut changer la manière dont nous voyons notre situation en tant que chercheurs de bonheur et de sens, dans un univers pour une grande part inconnu. Je reviendrai sur ces thèmes dans l'épilogue, où je suggère que la réalité du temps peut nous aider à penser à des défis tels que le changement climatique et la crise économique.

Avant que nous entamions l'argument principal du livre, quelques conseils.

J'ai essayé de rendre les arguments accessibles au lecteur non spécialisé sans nécessiter de bagage en physique ou en mathématiques. Il n'y a pas d'équations, et tout ce que vous avez besoin de connaître pour suivre mes arguments est expliqué. Les questions essentielles sont illustrées avec des exemples simples. Tandis que nous progresserons vers des sujets plus sophistiqués, il est conseillé au lecteur, s'il est perdu, de faire ce que les scientifiques apprennent à faire, à savoir survoler ou sauter en aval jusqu'à un endroit où le texte devient à nouveau clair pour eux. Le lecteur qui souhaite plus d'éléments peut aussi consulter les diverses annexes, qui sont disponibles en ligne en anglais sur le site www.timereborn.com. Le lecteur peut aussi trouver utile de consulter les Notes, qui contiennent des citations, des remarques utiles que ce soit pour les néophytes ou pour les experts, et d'autres discussions pouvant intéresser certains lecteurs.

Mon propre voyage de retour au temps a pris plus de vingt ans, de la réalisation que les lois doivent être expliquées par le fait qu'elles ont évolué, à mes démêlés avec la relativité, les bases quantiques, et la gravitation quantique, qui m'ont finalement conduit à la vision décrite ici. Des collaborations et des conversations avec plusieurs amis et collègues ont été cruciales pour ma progression sur cette voie ; elles sont précisées dans les Remerciements et Notes, au même titre que mon utilisation de résultats et d'idées empruntées à d'autres. Aucune de ces interactions n'a été plus importante que ma collaboration fertile et excitante avec Roberto Mangabeira Unger, pendant laquelle nous avons formulé l'argument principal et beaucoup des idées clef qui suivent.¹ Les lecteurs doivent être informés du fait qu'il existe de nombreux points de vue sur le temps, la théorie quantique, la cosmologie, et

d'autres sujets de ce genre qui ne sont pas discutés ici. Les physiciens, les cosmologistes et les philosophes ont produit une vaste littérature concernant les thèmes que j'aborde. Ce livre n'a pas prétention à être académique. J'ai fait le choix de fournir au lecteur qui pourrait découvrir ce domaine de discussion pour la première fois une certaine route lui faisant traverser ce paysage complexe, en mettant l'accent sur certains arguments qui lui sont centraux.² Il y a (pour ne prendre qu'un exemple) des rayonnages entiers d'écrits analysant les conceptions de Kant sur l'espace et le temps, dont il n'est pas fait mention ici. Je ne décris pas non plus certaines des vues de philosophes contemporains. Je plaide pour que mes amis érudits me pardonnent ces omissions, et je renvoie le lecteur intéressé à la bibliographie, qui contient des suggestions pour plus de lecture sur le sujet du temps.

PROLOGUE

La masse d'arguments scientifiques en faveur d'un temps illusoire est colossale. C'est pourquoi, si l'on adopte la vision que le temps est réel, les conséquences sont révolutionnaires.

Au centre de l'argumentation des physiciens à l'encontre du temps, il y a la manière dont nous comprenons ce qu'est une loi de la physique. Selon le point de vue majoritaire, tout ce qui se déroule dans l'univers est déterminé par une loi, qui dicte précisément comment le futur évolue à partir du présent. La loi est absolue et, une fois que les conditions dans le présent sont spécifiées, il n'y a ni liberté ni incertitude quant au déroulement du futur.

Thomasina, héroïne précoce de la pièce de Tom Stoppard, *Arcadia*, explique ainsi à son tuteur : « Si tu pouvais immobiliser chaque atome dans sa position et direction, et si ton esprit pouvait appréhender toutes les actions ainsi suspendues, puis si tu étais vraiment très, très doué en algèbre, tu pourrais écrire la formule pour la totalité du futur ; et bien qu'il n'y ait personne d'assez intelligent pour pouvoir réaliser ça, la formule doit exister comme si quelqu'un le pouvait. » J'avais coutume de penser que mon boulot de physicien théoricien était de trouver cette formule ; je conçois aujourd'hui cette foi en son existence comme du mysticisme plus que comme de la science. Eût-il écrit pour un personnage moderne,

Stoppard aurait fait dire à Thomasina que l'univers est pareil à un ordinateur. Les lois de la physique sont le programme. Quand vous entrez une donnée – les positions à l'instant présent de toutes les particules élémentaires dans l'univers – l'ordinateur mouline pendant une durée appropriée et vous pond le résultat, qui est l'ensemble des positions des particules élémentaires à un instant futur. Dans cette vision de la nature, rien ne se produit hors du réarrangement des particules selon des lois éternelles. Donc, d'après ces lois le futur est déjà complètement déterminé par le présent et le présent, par le passé.

Cette vision minimise le rôle du temps de plusieurs façons.¹ Il ne peut y avoir aucune surprise, aucun phénomène vraiment nouveau, parce que tout ce qui survient n'est que réarrangement des atomes. Les propriétés des atomes eux-mêmes sont éternelles, tout comme les lois qui les gouvernent ; elles ne changent pas. Toute propriété du monde à venir est calculable à partir de la configuration du présent. Autrement dit, on peut substituer à l'écoulement du temps un simple calcul, ce qui signifie que le futur est logiquement enfanté par le présent.

Les théories de la relativité d'Einstein renforcent à leur tour les arguments selon lesquels le temps n'est pas essentiel à une description fondamentale du monde, comme je le montrerai au chapitre 6. La relativité suggère que l'histoire complète du monde est une unité intemporelle ; le présent, le passé, et le futur n'ont pas de signification hors de la subjectivité humaine. Le temps est juste une autre dimension de l'espace, et le sens que nous avons de faire l'expérience d'instantants qui passent est une illusion derrière laquelle se cache une réalité atemporelle. Ces affirmations doivent sembler terrifiantes à quiconque réserve dans sa vision du monde une place au libre-arbitre ou à

l'organisation humaine. Je ne m'engagerai pas dans cette discussion ici ; si je plaide la réalité du temps c'est en raison d'arguments purement scientifiques. Ma tâche sera d'expliquer en quoi la justification habituelle d'un futur prédéterminé est scientifiquement fausse.

Dans la première partie, je présenterai les arguments de la science en faveur d'une croyance que le temps est illusoire. Dans la seconde partie, je démolirai ces arguments et montrerai que le temps doit être considéré comme réel si l'on veut sortir la physique fondamentale et la cosmologie de la crise où elles se trouvent actuellement. Pour mettre en perspective les arguments de la première partie, j'esquisse les développements du concept du temps utilisé en physique, depuis Aristote et Ptolémée jusqu'à Galilée, Newton, Einstein, et nos cosmologistes quantiques contemporains, et montre de quelle manière notre concept du temps a régressé, chaque fois un peu plus, à mesure que progressait la physique. Raconter l'histoire sous cet angle me permet également d'injecter en douceur les ingrédients dont le lecteur néophyte a besoin pour comprendre mon argumentation. En effet, les points-clefs peuvent être introduits au moyen d'exemples familiers de balles qui tombent et de planètes qui tournent sur leur orbite.

La seconde partie raconte une histoire plus contemporaine, puisque la question de devoir réhabiliter le temps au cœur de la science s'est imposée en réponse à des développements récents. Mon argument part d'une constatation simple : le succès des théories scientifiques depuis Newton jusqu'à aujourd'hui repose sur leur utilisation d'un contexte explicatif particulier inventé par Newton. Ce contexte envisage la nature comme composée uniquement de particules aux propriétés intemporelles, dont les mouvements et interactions sont déterminés par des lois

intemporelles. Les propriétés des particules, telles que leur masse et charge électrique, ne changent jamais, pas plus que les lois qui agissent dessus. Ce cadre contextuel est idéalement adapté à la description de petites portions de l'univers, mais *il s'effondre dès que nous tentons de l'appliquer à l'univers dans sa totalité.*

Toutes les théories majeures de la physique se préoccupent de portions de l'univers – une radio, une balle en vol, une cellule biologique, la Terre, une galaxie. Quand nous décrivons une portion de l'univers, nous laissons à l'extérieur du système nos instruments de mesure et nous-même. Nous mettons de côté notre rôle de sélectionneur ou de préparateur du système que nous étudions. Nous mettons de côté les références qui ont servi à établir où le système se trouve. Et, plus crucial pour l'intérêt que nous portons à la nature du temps, nous mettons de côté les horloges grâce auxquelles nous mesurons des changements dans le système. La tentative d'étendre la physique à la cosmologie entraîne de nouveaux défis qui réclament une pensée neuve. Une théorie cosmologique ne peut rien mettre de côté. Pour être complète, elle doit absolument tout prendre en compte de l'univers, y compris nous-mêmes en tant qu'observateurs. Elle doit prendre en compte nos instruments de mesure et nos horloges. Quand nous faisons de la cosmologie, nous sommes face à une nouvelle situation : il est impossible de sortir du système que nous étudions quand le système est l'univers entier. De surcroît, une théorie cosmologique doit pouvoir se passer de deux aspects importants de la méthodologie scientifique. Une règle de base en science est qu'il faut reproduire une expérience de nombreuses fois pour être sûr de son résultat. Mais nous sommes incapables de cela avec l'univers dans sa totalité – l'univers ne se produit

qu'une fois. Nous ne pouvons pas non plus préparer le système de diverses manières pour en étudier les conséquences. Ce sont là des handicaps très réels, qui rendent la pratique de la science beaucoup plus difficile à l'échelle de l'univers entier.

Malgré tout, nous voulons construire à partir de la physique une science de la cosmologie. Notre premier instinct est de prendre les théories qui ont si bien marché pour de petites portions de l'univers et de les appliquer à plus grande échelle afin de décrire l'univers entier. Comme je le montrerai dans les chapitres 8 et 9, cela ne marche pas. Le contexte newtonien de lois éternelles agissant sur des particules aux propriétés éternelles n'est pas adapté à la description de l'univers tout entier. En effet, comme je le montrerai en détail, les particularités même de ces théories qui les rendent si efficaces quand on les applique à de petites portions de l'univers les font échouer si on tente de les appliquer à l'univers dans son ensemble. Je réalise que cette assertion va à contre-courant de la pratique et des espoirs de nombreux collègues, mais je demande seulement que le lecteur me prête toute son attention pour suivre les explications de la seconde partie. J'y montrerai, dans le cas général et illustré d'exemples spécifiques, que lorsque nous voulons faire de nos théories standard des théories à l'échelle cosmologique, nous ne récoltons que des dilemmes, des paradoxes, et des questions auxquelles nous ne trouvons aucune réponse. En particulier, on constate que toute théorie standard échouera à rendre compte des choix faits dans l'univers primordial – choix de conditions initiales et choix des lois même de la nature.

Une partie de la littérature en cosmologie contemporaine consiste dans les efforts de personnes très brillantes pour se sortir de ces dilemmes, paradoxes, et questions sans

réponse. La notion que notre univers puisse appartenir à un multivers immense voire infini est populaire – et on peut le comprendre, parce qu'elle est fondée sur une erreur de méthodologie dans laquelle il est facile de tomber. Nos théories actuelles ne peuvent fonctionner au niveau de l'univers que si notre univers est un sous-système d'un système plus large. Alors nous inventons un environnement fictif, et le remplissons d'autres univers. Ceci ne peut pas nous conduire à un réel progrès scientifique, car nous ne pouvons ni confirmer ni mettre en défaut des hypothèses concernant des univers non reliés causalement au nôtre.² L'objectif de ce livre est de suggérer qu'il existe une autre voie. Nous avons besoin de faire une coupure radicale et de nous mettre en quête d'un nouveau genre de théorie qui pourra être appliqué à la totalité de l'univers – une théorie qui déjouera les confusions et les paradoxes, répondra aux questions sans réponse, et produira de véritables prédictions physiques pour les observations en cosmologie. Je ne possède pas une telle théorie, mais ce que je peux offrir est un ensemble de principes pouvant guider notre quête pour la trouver. Ils sont présentés au chapitre 10. Dans les chapitres qui lui font suite, j'illustrerai comment ces principes peuvent inspirer de nouvelles hypothèses et modèles de l'univers qui montrent le chemin vers une vraie théorie cosmologique. Le principe central est que le temps doit être réel et que les lois physiques doivent évoluer dans ce temps réel. L'idée de lois qui évoluent n'est pas nouvelle, tout comme l'idée qu'une science cosmologique doive y avoir recours.³ Le philosophe américain Charles Sanders Peirce écrivait en 1891 :

« Supposer que les lois universelles de la nature puissent être appréhendées par l'esprit, sans que rien n'explique leurs formes particulières qui restent irrationnelles, est

une position difficilement justifiable. Les uniformités sont précisément le genre de faits dont il faut rendre compte... La loi est par excellence la chose qui demande une raison d'être. Maintenant la seule façon possible de rendre compte des lois de la nature et de l'uniformité en général est de supposer qu'elles résultent de l'évolution. »⁴

Le philosophe contemporain Roberto Mangabeira Unger proclamait plus récemment :

« Vous pouvez, à partir des propriétés de l'univers dans le présent, remonter aux propriétés qu'il devait avoir à son commencement. Mais vous ne pouvez pas montrer que ces propriétés sont les seules que tout univers puisse avoir... Tôt ou tard des univers pourraient avoir eu des lois entièrement différentes... Établir les lois de la nature n'est pas décrire ni expliquer toutes les histoires possibles de tous les univers possibles. Il n'y a qu'une distinction relative entre une explication par les lois et la narration d'une séquence historique unique. »⁵

Paul Dirac, qui aux côtés d'Einstein et Niels Bohr compte au rang des physiciens les plus importants du xx^e siècle, spécula : « Au commencement du temps les lois de la Nature étaient probablement très différentes de ce qu'elles sont maintenant. Aussi, nous devrions considérer les lois de la Nature comme changeantes au gré des époques, plutôt que comme uniformément figées à travers tout l'espace-temps. »⁶ John Archibald Wheeler, un des grands physiciens américains, imagina également que les lois évoluaient. Il proposa que le big bang fût un événement avec une série d'autres, par lesquels les lois de la physique étaient reconfigurées. Il écrivit aussi, « Il n'y pas de loi, à l'exception de la loi qu'il n'y a pas de loi. »⁷ Même Richard Feynman, autre grand physicien américain et élève de Wheeler, s'aventura un jour à dire dans

une interview : « Le seul domaine qui n'ait admis aucune question d'évolution est la physique. Voici les lois, disons-nous... mais comment sont-elles devenues ce qu'elles sont, aujourd'hui ?... Alors, il se peut qu'elles ne soient pas les mêmes (lois) tout le temps et qu'il y ait une question d'histoire et d'évolution. »⁸

Dans mon livre publié en 1997, *The Life of the Cosmos* (*La Vie du Cosmos*), j'ai proposé un mécanisme pour que les lois évoluent, en prenant pour modèle l'évolution en biologie. J'imaginai que les univers puissent se reproduire en formant des bébés univers à l'intérieur de trous noirs, et je supposai que lorsque cela se produisait, les lois de la physique pouvaient changer légèrement. Dans cette théorie, les lois assumaient le rôle des gènes en biologie ; un univers était vu comme l'expression d'un choix de lois effectué à sa formation, exactement comme un organisme est l'expression de ses gènes. Comme les gènes, les lois pouvaient muter aléatoirement de génération en génération. Inspiré par les résultats alors tout récents de la théorie des cordes, j'imaginai que la recherche d'une théorie unifiée fondamentale conduirait non pas à une unique Théorie du Tout mais à un vaste espace de lois possibles. J'appelle cela le paysage des théories, adoptant le langage de la génétique des populations, dont les experts manipulent des paysages adaptatifs. Je n'en dirai pas plus ici, puisque c'est le sujet du chapitre 11, si ce n'est que cette théorie, la sélection naturelle cosmologique, réalise plusieurs prédictions qui, de façon remarquable, se sont maintenues malgré plusieurs occasions de les mettre en défaut pendant les années qui ont suivi. Durant la dernière décennie, de nombreux théoriciens des cordes ont adopté le concept d'un paysage des théories. De ce fait, la question de la manière dont l'univers choisit les lois auxquelles il devra obéir est devenue

particulièrement pressante. Ceci, je le montrerai, est l'une des questions qui peuvent être résolues seulement à l'intérieur d'un nouveau cadre conceptuel pour la cosmologie où le temps est réel et les lois évoluent.⁹

Les lois, donc, ne sont pas imposées à l'univers depuis l'extérieur. Aucune entité externe, fut-elle divine ou mathématique, ne vient spécifier à l'avance ce que doivent être les lois de la nature. Les lois de la nature n'attendent pas, en silence, à l'extérieur du temps, que l'univers démarre. Les lois de la nature émergent plutôt de l'intérieur même de l'univers et évoluent au cours du temps avec l'univers qu'elles décrivent. Il est même possible que, comme en biologie, de nouvelles lois de la physique puissent surgir en tant que régularisation de nouveaux phénomènes qui émergent au cours de l'histoire de l'univers.

Certains pourraient voir ce désaveu des lois éternelles comme un repli par rapport aux objectifs de la science. Mais je le vois comme le délestage d'un excès de bagage métaphysique qui pèse sur notre recherche de la vérité. Dans les chapitres à venir, je donnerai des exemples illustrant comment les idées de lois évoluant avec le temps conduisent à une cosmologie plus scientifique – ce par quoi je veux dire, pouvant générer plus de prédictions se prêtant au test expérimental.

À ma connaissance, le premier scientifique qui depuis l'aube de la révolution scientifique se soit réellement demandé comment produire une théorie de l'univers dans sa globalité fut Gottfried Wilhelm Leibniz, qui entre autres choses était le rival de Newton dans un duel célèbre, quant à revendiquer lequel des deux avait été le véritable inventeur du calcul infinitésimal. Également, il anticipa la logique moderne, développa un système de nombres binaires, et bien plus encore. D'aucuns l'ont appelé

l'individu le plus intelligent qui eût jamais vécu. Leibniz formula un principe pour encadrer les théories cosmologiques appelé *le principe de raison suffisante*, qui postule qu'il doit y avoir une raison rationnelle pour chaque choix apparent dans la construction de l'univers. Chaque interrogation de la forme, « Pourquoi l'univers est-il comme X plutôt que comme Y ? » doit avoir une réponse. Par conséquent, si un dieu fit le monde, Il n'a guère pu avoir le choix à Sa table à dessins. Le principe de Leibniz a eu un effet profond sur le développement de la physique jusqu'ici, et, comme nous le verrons, il continue à être un guide fiable dans nos efforts pour concevoir une théorie cosmologique.

Leibniz avait une vision du monde dans laquelle tout existe non pas dans l'espace mais immergé dans un entrelacs de relations. Ces relations définissent l'espace, et non l'inverse. Aujourd'hui l'idée d'un univers composé d'entités reliées, interconnectées, est enracinée dans la physique moderne, ainsi que dans la biologie et l'informatique.

Dans un monde relationnel (appelons ainsi un monde où les relations précèdent l'espace), il n'y pas d'espaces sans entités. Le concept d'espace de Newton était aux antipodes, puisqu'il concevait l'espace comme un absolu. Cela veut dire que les atomes sont définis par leur position dans l'espace, lequel n'est affecté en aucun cas par le mouvement des atomes. Dans un monde relationnel, il n'y a pas de telles asymétries. Les choses sont définies par leurs relations. Les individus existent, et ils peuvent être partiellement autonomes, mais leurs possibilités sont déterminées par le réseau de relations. Les individus se rencontrent et se perçoivent à travers les liens qui les connectent au sein du réseau, et les réseaux sont dynamiques et évoluent.

Comme je l'expliquerai au chapitre 3, il s'ensuit du grand principe de Leibniz qu'il ne peut pas exister de