

LE TEMPS

UN ÉTERNEL RECOMMENCEMENT ?

Gabriel Chardin
Anne Debroise
Marc Déjardin
Denis Delbecq
Élie During
Étienne Klein
Marc Lachièze-Rey
Pierre Martinetti
Philippe Pajot
Daniel Parrochia
Roger Penrose
Carlo Rovelli
Denis Savoie

DUNOD **LA Recherche**

Cet ouvrage est dérivé du numéro spécial du magazine
La Recherche : « Le temps : Voyage aux frontières de l'infini »,
paru en décembre 2016.

Couverture : Hokus Pokus

Illustration de couverture :
© Oleksandr Moroz/Adobe Stock

Illustrations : **P. 16-17** – conçue par Alexis de Saint Ours.
P. 41 – Patrick Garcia. **P. 87, 106, 122** – Bruno Bourgeois.
P. 132 – Laguna Design/SPL/Cosmos.

© Dunod, 2018
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-078384-7

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.

Prologue

LE TEMPS QUI PASSE ET REPASSE

À moins de vivre très vieux, votre vie n'excédera pas trois milliards de seconde¹. Cette durée nous fait prendre conscience de manière abrupte du temps qui passe. Mais passe-t-il vraiment ? Si nous en sommes persuadés, les savants s'interrogent. Et si cette sensation d'écoulement du temps n'était qu'une illusion ? A-t-on besoin de temps pour décrire le changement ? Et le temps lui-même est-il une entité physique véritable ou émane-t-il des relations entre objets ?

Ces questions fondamentales sont aussi anciennes que la philosophie elle-même. Malgré les avancées spectaculaires de la physique du ^{xx}e siècle les interrogations demeurent. La définition du temps est du coup impossible, puisqu'il existe presque autant de conceptions que de courants philosophiques et physiques. Peut-être la solution viendra-t-elle de nouvelles avancées mathématiques et physiques. La théorie des cordes ou la gravitation quantique à boucle, deux idées

1. Un milliard de secondes correspond à environ 32 ans.

qui visent à réconcilier la physique quantique et la relativité générale d'Einstein, sont sur les rangs... Mais on ne peut en préjuger pour le moment.

Malgré ces difficultés épistémologiques, nous disposons, avec les horloges atomiques, de techniques très performantes pour mesurer le temps – ou plutôt les durées – qui ouvrent des perspectives inimaginables au siècle dernier. Le positionnement par satellite – GPS ou Gallileo – est un exemple spectaculaire de ces capacités de mesure. Des techniques qui tirent pleinement profit de la relativité générale d'Einstein et des progrès en physique quantique.

On peut aussi prédire, avec pas mal d'incertitude toutefois, le destin de l'Univers. Et nous savons également que le voyage vers le futur est possible en théorie. Si un tel voyage vous tente, vous vivrez toujours trois milliards de secondes, mais vous pourrez explorer les siècles à venir. Dans un siècle ou deux, aura-t-on alors compris ce qu'est le temps ? Rien n'est moins sûr, mais il paraît clair que la science du temps nous révélera d'autres surprises.

Philippe Pajot

Introduction

ENTRETIEN AVEC ROGER PENROSE : « TOUT NE SERAIT QU'UN ÉTERNEL RECOMMENCEMENT »

Depuis la relativité générale d'Einstein, le temps est irrémédiablement lié à l'espace. Mais ce modèle ne permet pas d'expliquer pourquoi nous éprouvons la sensation qu'il s'écoule. Les physiciens poursuivent leurs efforts à la recherche d'une théorie qui justifierait l'absence de réversibilité de cette variable.

Physicien et mathématicien à la vision iconoclaste, Roger Penrose explore depuis soixante ans les arcanes de la physique théorique. Il a travaillé sur les trous noirs avec Stephen Hawking et a également formulé la conjecture de censure cosmique selon laquelle il n'existe pas de singularité – où les quantités physiques deviennent infinies – sans trou noir. Versé dans la géométrie, le physicien a proposé une théorie des twisteurs, nouvelle manière de regarder l'espace-temps, qui tente de réconcilier relativité générale et physique quantique. Il est aussi l'auteur d'un modèle cosmologique dans lequel disparaît le besoin d'une origine des temps, puisqu'il s'agit d'un modèle cyclique infini. Plus récemment, il s'est intéressé à la conscience, à laquelle il attribue notre sensation d'écoulement du temps. Assis dans son jardin à Oxford, il raconte avec passion et malice son rapport au temps et à la physique, hors des sentiers battus.

Biographie

8 août 1931 Roger Penrose naît à Colchester, en Grande-Bretagne.

1958 Il obtient un doctorat en mathématiques à l'université de Cambridge.

1973 Il devient professeur de mathématiques à l'université d'Oxford.

1975 Il reçoit avec Stephen Hawking la médaille Eddington de la Royal Astronomical Society.

1988 Il reçoit avec Stephen Hawking le prix Wolf de physique.

1994 Il est anobli par la reine d'Angleterre pour services rendus à la science.

*La Recherche*¹ – *Qu'est-ce que le temps pour vous ?*

Roger Penrose – Pour moi, le temps est celui de la relativité générale d'Einstein, autrement dit c'est l'une des quatre dimensions de l'espace-temps. Je considère que la relativité générale est une théorie magnifique. Elle n'a jamais été prise en défaut. Nous avons des horloges atomiques très précises, qui confirment que la théorie décrit superbement ce qui se passe. Si les systèmes de positionnement par satellite, comme le GPS, fonctionnent aussi bien, c'est parce que la relativité générale est prise en compte. L'observation des pulsars binaires dans les années 1970 – et très récemment des ondes gravitationnelles émises par des trous noirs qui fusionnent – confirme le bien-fondé de la théorie. Et selon celle-ci, il n'existe pas de temps universel – comme c'était le cas dans la théorie de la gravitation de Newton – mais seulement des temps relatifs : chacun des observateurs qui peuplent l'Univers a un temps local, son temps propre. Du coup, il n'existe pas de progression du temps universel qui serait associée à un système de coordonnées arbitraires.

Pourquoi cette vision du temps pose-t-elle problème ?

Elle ne pose pas de problème pour la physique ou l'astronomie, puisque, nous l'avons dit, la théorie de la relativité générale décrit bien ce qui se passe. Seulement, elle n'explique pas notre sensation de la progression du temps. Ce sentiment que nous avons tous que le temps passe, qu'il s'écoule. De la relativité générale, nous pouvons tirer l'image de l'« univers-bloc », un univers

1. Propos recueillis par Philippe Pajot.

quadrimensionnel statique qui englobe passé, présent et futur, sans écoulement. De plus, si l'on prend la théorie de la relativité restreinte au sérieux – ce que je suis bien sûr enclin à faire – la progression du temps n'est pas ce que qu'on imagine naturellement car, en relativité restreinte, il est impossible de définir une notion de simultanéité. Surtout pour de grandes distances. Prenez par exemple la galaxie d'Andromède, située à environ deux millions d'années-lumière de nous. Il existe un instant ici, où nous nous trouvons, qui est simultanément avec un instant sur une planète d'Andromède. Eh bien, si au lieu d'être assis ici et maintenant, je marche dans une direction ou une autre, ces instants ne sont plus simultanés : il y aurait une différence de plusieurs semaines entre ces instants... Il faut reconnaître qu'il y a là quelque chose de bizarre. Notre sensation du temps qui passe n'est pas inconsistante avec la relativité. C'est juste qu'elle n'est pas expliquée par cette théorie.

Comment dans ce cas expliquer notre perception du temps ?

J'aimerais bien le savoir... Nous ne disposons pas de temps universel, chaque personne ayant un temps interne. Cela a à voir avec notre perception consciente. Et, dans notre perception consciente, nous avons le sentiment que le temps progresse. Même si je ne comprends pas ce qui se passe, je pense qu'il doit y avoir une explication physique, vraisemblablement pas issue de la physique conventionnelle, mais je reste persuadé qu'il y a une explication physique quand même. Sans doute cela a-t-il un lien avec l'une des principales choses qui nous manquent : une bonne théorie de la réduction des états quantiques.

Cela signifie-t-il pour vous qu'il faudrait compléter la mécanique quantique ?

Les deux théories qui ont révolutionné la physique au xx^e siècle fonctionnent bien, mais elles ont toutes deux des problèmes. La relativité générale, qui décrit la gravitation, a des problèmes liés aux singularités, lorsque les quantités deviennent infinies. C'est le cas dans les trous noirs et lors du Big Bang. Comment traiter ces situations ? Eh bien, nous ne savons pas le faire dans le cadre de la relativité générale. Mais la mécanique quantique, qui décrit l'infiniment petit, a un souci bien plus sérieux avec le problème de la mesure. Le problème de la mesure quantique est en fait multiple et souligne des difficultés de corrélation entre les postulats de la mécanique quantique et le monde macroscopique tel qu'il est mesuré. Habituellement, ces problèmes sont balayés sous le tapis au motif qu'il s'agit de philosophie. C'est bien dommage. Ce paradoxe de la mesure – je préfère ce terme – part du fait qu'on a une équation qui décrit l'évolution du système quantique en fonction du temps de manière déterministe (l'équation de Schrödinger). Ensuite, dans le processus de la mesure, vous vous retrouvez non plus avec une évolution, mais avec des probabilités. Cela n'est pas cohérent. Le chat de Schrödinger¹ est soit vivant, soit mort, mais pas à la fois mort et vivant. Même en invoquant la décohérence²,

1. Le chat de Schrödinger est une expérience de pensée de physique quantique, dans laquelle un chat peut être à la fois dans deux états, mort et vivant.

2. La décohérence considère qu'un système quantique ne doit pas être considéré comme isolé, mais en interaction avec son environnement.

ou d'autres solutions, comme les univers multiples¹, cela ne résout pas le problème de savoir pourquoi vous ne voyez pas les deux possibilités en même temps : les postulats de la mécanique quantique n'expliquent pas pourquoi vous ne voyez pas le chat mort et vivant en même temps... C'est pourquoi je crois que la théorie quantique est incomplète – et c'est une manière polie de la décrire. Paul Dirac (1902-1984), l'un des physiciens qui a formulé la version moderne de la théorie quantique, a dit lui-même qu'il s'agissait d'une théorie provisoire et qu'une meilleure théorie la supplanterait. Je suis persuadé qu'il a raison.

Pouvez-vous décrire le principe de la théorie des twisteurs que vous avez proposée ?

L'idée de base consiste à engendrer l'espace-temps à partir de la structure des rayons lumineux. Ainsi, si vous voulez décrire un point de l'espace-temps, il faut imaginer tous les rayons lumineux qui parviennent à ce point. En plus, il faut ajouter un paramètre aux rayons lumineux : une hélicité. D'où le nom « twisteur ». Finalement, l'espace que l'on considère, et qui encode l'espace-temps, est de dimension 6 (réel). C'est donc un espace de dimension 3 complexe, puisque chaque nombre complexe correspond à deux nombres réels (les nombres complexes étant de la forme $a + ib$, où a et b sont des nombres réels et i tel $i^2 = -1$). C'est un cadre intéressant, car on peut décrire grâce à ce formalisme énormément de notions physiques en termes de géométrie complexe.

1. Les univers multiples coexisteraient avec notre Univers. Ils se diviseraient continuellement en univers divergents, différents et inaccessibles entre eux.