

M A G I Q U E
Q U A N T I Q U E

T I M J A M E S

M A G I Q U E
Q U A N T I Q U E

COMMENT LA PHYSIQUE QUANTIQUE
PEUT TOUT EXPLIQUER...
SAUF LA GRAVITÉ!

Préface de Charles Antoine

Traduit de l'anglais par Benjamin Peylet

DUNOD

Copyright © Tim James 2019
First published in Great Britain in 2019 by Robinson,
an imprint of Little, Brown Book Group

Copyright © Tim James 2019
Cet ouvrage a été publié au Royaume-Uni en 2019 par Robinson,
et imprimé par Little, Brown Book Group, sous le titre original:
*Fundamental: How Quantum and Particle Physics Explain Absolutely
Everything (Except Gravity).*

Direction artistique (couverture): Élisabeth Hébert
Mise en pages: PCA
Photographie de couverture: Adobe stock © Sergii

© Dunod, 2020 pour la traduction française
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-080693-5

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.

Ce livre est dédié aux élèves de Northgate High School.

L'AUTEUR

Tim James est professeur de sciences au collège et lycée, YouTubeur, blogueur et Instagrammeur. Élevé par des missionnaires au Nigéria, il est tombé amoureux de la science à quinze ans et n'a jamais cessé de l'aimer. Après avoir obtenu un master de chimie et s'être spécialisé dans le calcul numérique pour la mécanique quantique, il se consacre à l'enseignement et à la diffusion de la science.

*« Même quand les scientifiques sont sûrs de leur coup,
la nature a le chic pour les surprendre. »*
Nemesis, Isaac Asimov

Préface

Quel plaisir d'avoir découvert ce livre de Tim James! Et quel plaisir de vous savoir à votre tour en route dans son exploration!

«Un livre doit avoir la force d'une poignée de main», m'a un jour confié le poète Christian Bobin. Et le sourire réjoui du lecteur passionné! ajouterais-je volontiers, tant ce petit livre réussit le tour de force d'exposer avec simplicité et humour les concepts les plus élaborés de la physique quantique.

Nul besoin d'être géomètre pour entrer ici. Encore moins d'être expert quantique! Il suffit d'être curieux et de ne pas avoir peur de muscler ses neurones autant que ses zygomatiques.

Car si la rigueur et la précision sont de mise dans cet ouvrage complet, c'est avec une légèreté aérienne et parfois malicieuse que Tim James nous entraîne dans la découverte du monde quantique, de ses concepts clefs, et des applications modernes qui en découlent et peuplent notre quotidien.

Mais ce n'est pas seulement un vent de fraîcheur aux effluves quantiques que fait souffler cet amoureux des sciences. Il est en effet le témoin d'un changement dans notre façon d'envisager la vulgarisation et la transmission de la physique quantique. Car il est temps aujourd'hui de révolutionner notre manière de transmettre cette science, elle qui a transfiguré notre façon de voir le monde depuis bientôt cent ans.

Et si vous lisez ces lignes, vous êtes sûrement familiers de citations presque plus célèbres que leurs auteurs suggérant que la physique quantique serait une science extrêmement difficile, quasi inaccessible, absurde et incompréhensible même, réservée à une élite intellectuelle dont les efforts pour percer son mystère originel resteraient vains, tels des Sisyphe perdus sur le rocher de l'abstraction.

À l'instar du pétillant Tim James, je refuse cet état de fait et reste persuadé qu'une nouvelle génération de « passeurs quantiques » est en train d'éclorre et permettra, reprenant les mots du grand physicien Freeman Dyson, à tout un chacun de se sentir dans les années à venir « *at home with quantum ideas* »...

Et si le monde quantique défie aujourd'hui notre sens commun et remet en cause toutes nos certitudes dans tous les domaines, le donner à connaître – à défaut de comprendre – au plus grand nombre est un acte social autant que politique. Un acte nécessaire et salvateur tant l'omniprésence quantique semble se conjuguer au futur (que ce futur soit singulier ou pluriel, comme ceux des mondes parallèles).

Insoumise et transgressive, la physique quantique est comme la poésie pour Jean-Pierre Siméon, elle « illimite le réel et récuse la segmentation et l'immobilisation du sens ». De façon évidente, elle est l'outil intellectuel idoine pour appréhender le monde de demain.

Qu'on se le dise, la physique quantique n'est pas compliquée, elle est étrange. Elle « semble » étrange. Pour l'instant en tous cas. En fait, elle attend juste son heure, l'heure d'un nouveau Jules Verne pour reprendre les mots visionnaires du philosophe Michel Serres. Et cela tombe bien que vous ayez ce livre entre les mains, car son insondabilité supposée se languit d'être percée par votre regard neuf et curieux.

Drôle, léger et profond, avec des analogies originales, parlantes et tranchantes, le livre de Tim James participe de cette révolution de la démocratisation scientifique et saura parler à tous les lecteurs, des plus novices aux plus érudits. Le genre de livre dont le monde a aujourd'hui besoin.

Le genre de livre que j'aurais aimé écrire.

Le genre de livre qui ouvre des portes sur les toits.

Bon voyage!

Charles Antoine,
Auteur de *Schrödinger à la plage*
Le 9 décembre 2019

Prologue

La fin

La Nature a perdu la tête. Quand on va au plus profond, jusqu'aux lois fondamentales de la physique, tout en bas, dans la cave, on débarque dans un royaume chaotique et fou où connaissance et imagination se confondent.

Ce ne devrait pas être une surprise, après tout ; il paraît censé de s'interroger sur l'état mental d'un univers qui permet à l'étoile de mer d'exister. Cependant, même quand on est habitué aux excentricités de la nature, la physique quantique a de quoi surprendre.

Tout commence à la fin du XIX^e siècle, une époque où les gens étaient bien contents d'eux. Ils avaient cartographié les étoiles, isolé l'ADN et s'apprêtaient à briser l'atome. Leur savoir était presque complet, au point qu'ils paraissaient à l'aube du couronnement final : la fin de la science.

Il restait évidemment quelques casse-tête scientifiques étranges, que personne n'avait résolus, mais c'étaient de petites curiosités mineures qui pendouillaient dans un coin, comme les fils qui dépassent d'une jolie tapisserie. Et il fallut que nous tirions sur ces fils, et tout ce que nous tissions depuis des siècles se délita soudain pour découvrir un nouveau paysage. Un paysage quantique.

Richard Feynman, prix Nobel, avait ouvert une série de conférences sur la physique quantique par ces mots : « Mes étudiants en physique ne la comprennent pas. Je ne la comprends pas. Personne ne la comprend. »¹ La sentence est déprimante, venant de celui que certains

considèrent comme le plus grand théoricien de la physique quantique. Si quelqu'un d'aussi brillant que Feynman ne parvenait pas à tout saisir de ce sujet, comment nous autres, pauvres mortels, le pourrions-nous ?

Ce qu'il fallait comprendre, toutefois, c'est que Feynman ne disait pas que la physique quantique est trop *compliquée* pour être comprise. Il la jugeait en fait trop *étrange*.

Mettons que quelqu'un vous demande d'imaginer un triangle à quatre côtés, ou vous dise de penser à un nombre plus petit que dix mais plus grand qu'un milliard. Ces instructions n'ont rien de compliqué, toutefois vous auriez bien du mal à vous y conformer car elles n'ont pas de sens. C'est précisément ce à quoi va ressembler notre voyage en pays quantique.

C'est un monde de triangles à quatre côtés et de nombres qui n'obéissent pas aux règles habituelles. Un endroit où des univers parallèles et des paradoxes vous guettent à chaque coin de rue, où les objets ne se préoccupent plus ni de l'espace ni du temps.

Malheureusement, nos cerveaux ne sont pas conçus pour assimiler des folies de ce genre. Le monde sous nos yeux n'est pas assez étrange pour nous donner une idée juste de la nature telle qu'elle est au fond. C'est pourquoi, songeant à la physique quantique, le physicien Niels Bohr a dit que «le langage ne peut plus être que poésie»².

L'erreur que beaucoup commettent est de trouver la physique quantique si perturbante qu'ils se jugent trop peu intelligents pour la saisir. Ne soyez pas déstabilisés. Si vous trouvez tout cela bizarre et dérangent, parfait ; vous avez de votre côté les plus grands esprits de l'histoire.

C'est de ceux qui affirment tout comprendre à la physique quantique que vous devriez vous méfier. Quelque chose cloche chez ces gens-là.

1

Rougir de fierté

UNE LUMINEUSE HISTOIRE

La physique quantique est née du désir de comprendre la lumière, une énigme qui a creusé bien des têtes, et ce depuis des millénaires. Le philosophe grec Empédocle fut le premier à théoriser sa nature, quelque part autour du v^e siècle av. J.-C.

Il pensait que l'œil humain contenait une pierre de feu magique qui dardait ses rayons vers l'extérieur, illuminant ainsi tout ce que nous regardions¹. Une idée poétique, qui présentait un défaut évident : si nos yeux généraient la lumière à la manière de torches, nous devrions être capables de voir dans le noir.

Empédocle est aussi le type qui nous a légué l'idée aujourd'hui démentie des quatre substances élémentaires (feu, eau, air et terre). Il a même suggéré que la diversité biologique s'expliquait par la présence de membres isolés rampant un peu partout dans le monde et s'agglutinant au hasard pour former les corps des animaux.

On peut ainsi dire que, du point de vue de l'histoire des sciences, le boulot d'Empédocle fut d'imaginer les idées les plus folles afin que tous les autres puissent le contredire. Cela dit, s'agissant des rayons lumineux, il nous a fallu mille trois cents ans pour nous en rendre compte.

Ce n'est qu'après l'érudit arabe Alhazen autour de l'an mille (965-1040) que nous avons abandonné cette idée. Alhazen fit une

expérience, il disséqua un œil de cochon et prouva que la lumière rebondissait dans cette cavité comme dans une chambre noire. Ainsi, la lumière émanait plutôt des objets autour de nous, et nos yeux ne faisaient que se mettre en travers de son chemin².

Il peut sembler bizarre que plus d'un millénaire fût nécessaire pour nous assurer que nos yeux ne lançaient pas des rayons laser, mais c'était une autre époque. Tout le monde croyait alors que les humains conféraient aux objets leur raison d'exister. Il était inutile qu'ils aient une apparence quand personne ne les regardait.

Heureusement, la suggestion d'Alhazen qui proposait que l'expérience passe avant l'ego humain s'imposa progressivement et nous décidâmes que la lumière, quelle que fût sa nature, émanait des objets eux-mêmes et passait par nos yeux en ligne droite. Puis vint la Renaissance.

On peut estimer que le scientifique et philosophe le plus important de la Renaissance fut René Descartes, qui nous légua la nouvelle grande idée quant à la physique de la lumière.

Descartes observa que, lorsqu'une bougie est allumée, la lumière atteint tous les coins de la pièce en même temps, de la même manière que les vaguelettes nées au centre de l'étang parviennent au même moment sur tous ses bords. La lumière, se dit-il en conséquence, devait être un phénomène du même type. Il devait y avoir une substance invisible qui nous entourait en toute direction, et la lumière était le résultat d'ondes et de vaguelettes se déplaçant dans ce milieu³.

Le seul qui n'était pas trop d'accord avec cette idée de vague dans l'espace était Isaac Newton, qui s'était donné pour mission principale de contredire tous ceux qu'il considérait comme moins intelligents que lui (c'est-à-dire à peu près tout le monde).

Newton remarqua que, si la lumière était une vague se déplaçant dans un milieu, elle devrait infléchir sa course quand elle croisait un obstacle, comme une vague modifie légèrement sa trajectoire autour d'un rocher. En conséquence, les contours des ombres devraient être flous, or, ils sont très nettement dessinés au contraire, si bien qu'il

est plus sensé d'imaginer la lumière comme constituée de particules, qu'il appela des « corpuscules »⁴.

La théorie corpusculaire de la lumière s'imposa inévitablement contre la théorie ondulatoire de Descartes, principalement en vertu de la notoriété de Newton et de la hargne qu'il mettait à écraser qui-conque le défiait.

Si bien que Newton aurait été horrifié d'apprendre les résultats de l'expérience de Thomas Young, qui montra que l'inverse était vrai soixante-dix ans après sa mort. La mort de Newton, veux-je dire. Thomas Young ne fit que bien peu d'expériences après la sienne.

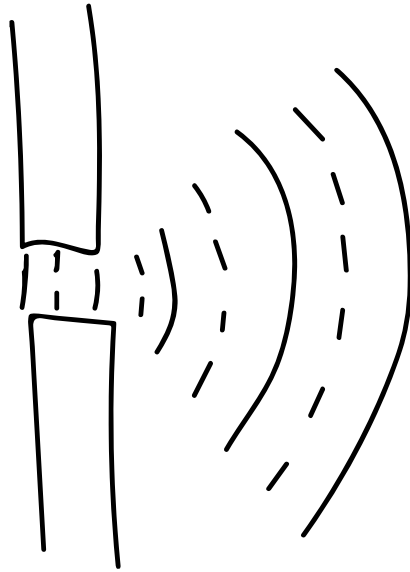
NOUVELLE VAGUE

Thomas Young était doté de l'un des plus beaux esprits que le XVIII^e siècle ait produits. Il est peut-être plus connu pour sa traduction de la pierre de Rosette, ce qui fit de lui le premier homme à avoir déchiffré les hiéroglyphes⁵. Il fut également le premier à identifier les récepteurs de la couleur dans nos yeux. Il écrivit plusieurs livres de médecine, parlait quatorze langues, jouait d'une douzaine d'instruments de musique et développa une théorie moderne de l'élasticité⁶.

L'expérience de Young qui fit vraiment des vagues dans la théorie de la lumière date de 1801. On la connaît sous le nom d'expérience de la double fente.

Revenons à l'image des vaguelettes qui parcourent un étang. Imaginez un front régulier de vagues se déplaçant sur une surface liquide calme, et passant par une digue interrompue en son milieu. Quand les vagues passent par l'interstice, elles s'évasent légèrement, un processus nommé diffraction.

La raison qui explique ce déploiement est que le bord de la vague dissipe son énergie dans l'eau environnante. Vu du dessus, on obtient une disposition semblable au schéma ci-après, où les crêtes des vagues sont figurées par des lignes pleines, et les creux par des pointillés.



Perçons à présent notre digue de deux trous. La même chose se passe, seulement cette fois, on obtient deux vagues qui sont diffractées en même temps, puis se superposent et se mélangent. Vu du dessus, cela donne :

