

BRIAN CLEGG

10

**MODÈLES
POUR COMPRENDRE
L'UNIVERS**

DUNOD

10

MODÈLES
POUR COMPRENDRE
L'UNIVERS

Ten Patterns That Explain the Universe
© 2021 UniPress Books Ltd, London, UK

This translation of *Ten Patterns that Explain The Universe* published in English in 2021 is published by arrangement with UniPress Books Limited.

Cette traduction de l'ouvrage *Ten Patterns that Explain The Universe* paru en langue anglaise en 2021 est publiée en accord avec UniPress Books Limited.

Direction artistique : Nicolas Wiel
Couverture : Florie Bauduin
Illustration de couverture : © Urvana / Shutterstock
Mise en pages : Nord Compo

© Dunod, Paris, 2022 pour la traduction française
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-085043-3

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.

BRIAN CLEGG

10

**MODÈLES
POUR COMPRENDRE
L'UNIVERS**

Traduit de l'anglais par Marc Lachièze-Rey

DUNOD



SOMMAIRE

- 6 **INTRODUCTION**
- 11 **1 L'IMAGE DU FOND
 DIFFUS COSMOLOGIQUE**
 L'image du rayonnement fossile, écho du Big Bang
- 31 **2 LES DIAGRAMMES DE MINKOWSKI**
 La représentation des liens entre l'espace et le temps
- 53 **3 LES TRACÉS DE PARTICULES**
 Des trajectoires révélant l'antimatière et le boson de Higgs
- 75 **4 LES DIAGRAMMES DE FEYNMAN**
 La représentation des interactions entre lumière et matière
- 95 **5 LE TABLEAU PÉRIODIQUE**
 Le tableau qui traduit la configuration spécifique de chaque atome



113	6 DES CARTES AUX MODÈLES MÉTÉOROLOGIQUES	La représentation simple de systèmes météorologiques complexes
135	7 LA DROITE NUMÉRIQUE	À l'origine de l'arithmétique et de nombreux calculs mathématiques
155	8 LES CLADOGRAMMES	La représentation des relations entre espèces et leur évolution
179	9 LA DOUBLE HÉLICE DE L'ADN	La codification des données fondamentales du vivant
199	10 LES SYMÉTRIES	Un schéma omniprésent dans la nature, en mathématiques et en physique
220	INDEX	
224	REMERCIEMENTS	

INTRODUCTION

Nous comprenons le monde qui nous entoure à l'aide d'« images ». Il ne s'agit pas simplement d'illustrations au sens visuel du terme, mais également de « représentations » mentales de la réalité, de schémas ou de diagrammes la modélisant. Leur régularité, la cohérence des règles qui les régissent, nous aident à appréhender le monde. Ils nous évitent de devoir réapprendre la nature, les conséquences ou l'utilisation d'un phénomène ou d'un objet, comme une ombre, une pomme ou un interrupteur, à chaque nouvelle rencontre.

Parfois, notre besoin de tout modéliser peut nous égarer. Par exemple, quand nous sursautons devant une ombre, nous réagissons davantage à l'idée qu'un prédateur puisse s'y dissimuler, qu'à la réelle présence de celui-ci ; il vaut certes mieux se tromper plutôt que de se faire dévorer sans réagir. De même, les superstitions découlent de la croyance en un présupposé qui ne correspond pas à la réalité ; et les préjugés d'une mauvaise application d'un schéma par extrapolation d'un exemple unique à un groupe plus large (ainsi, tous les serpents ne sont-ils pas dangereux). Notons que l'Homme n'est pas le seul être concerné par ce phénomène : les pigeons par exemple, s'ils ont l'habitude de répéter un mouvement avant d'être nourris, peuvent l'accomplir lorsqu'ils ont faim en s'attendant à recevoir de la nourriture.

Mais le fait que nos représentations mentales du monde puissent nous induire en erreur ne doit pas remettre en cause

leur rôle fondamental. Et c'est le rôle de la science que de trouver des modèles nous permettant de l'appréhender. Les lois naturelles, telles que celles de Newton, expriment des régularités observées dans certains aspects de l'univers. Sans eux, notre environnement resterait incompréhensible : son comportement apparaîtrait constamment différent, il n'y aurait pas de lois, pas de science, pas de technologie, et l'univers serait un royaume de chaos. Fort heureusement, et pour des raisons que nous ne comprenons pas entièrement, l'univers semble bien se prêter à des modèles, schémas ou représentations fondamentaux qui nous aident à comprendre son fonctionnement. Dix d'entre eux, particulièrement significatifs, sont explorés dans ce livre.

Le fond diffus cosmologique

Nous évoquerons tout d'abord l'image du fond diffus cosmologique, un rayonnement électromagnétique nous parvenant de toutes les directions de l'espace, et dont

l'origine remonte aux premiers moments de l'univers. Les motifs que dessinent ses subtiles variations d'intensité révèlent comment les toutes premières structures de l'univers se sont formées.

Les diagrammes de Minkowski

Nous verrons ensuite que les diagrammes de Minkowski, issus de la théorie de la relativité restreinte d'Albert Einstein puis développés par Hermann Minkowski, illustrent l'imbrication de deux aspects familiers de la réalité – l'espace et le temps – et ses conséquences déroutantes lorsqu'un objet se rapproche de la vitesse de la lumière.

Les trajectoires de particules

Nous évoquerons également ces motifs de pluies de nouvelles particules, des enchevêtrements de motifs obtenus grâce aux accélérateurs de particules comme le Grand collisionneur de hadrons du CERN, en Suisse ; tel un marteau-pilon pour casser de très petites noix, il accélère à une vitesse proche de celle de la lumière des particules chargées et provoque leurs collisions. Une grande part de l'énergie de ces collisions est convertie en matière, selon la célèbre équation $E = mc^2$. Les configurations des nouvelles particules produites ont permis des découvertes comme celle du boson de Higgs.

Les diagrammes de Feynman

Contrairement aux images des trajectoires de particules, les diagrammes de

Feynman sont élégants, clairs et synthétiques. Conçus par le grand physicien Richard Feynman, ils illustrent les interactions entre particules de lumière et de matière. Leur utilisation simplifie les calculs complexes nécessaires pour prendre en compte toutes leurs conséquences possibles.

Le tableau périodique

Reconnaissable par beaucoup de gens, le tableau périodique des éléments domine la chimie. Régulièrement présent au cinéma et à la télévision, omniprésent sur les murs des laboratoires de chimie, il constitue un décor familier. Mais cette structure de rectangles cache une configuration fondamentale : les dispositions des électrons dans les atomes, qui déterminent les propriétés des réactions chimiques, de la myriade de celles qui font fonctionner notre corps jusqu'à celles qui font rouiller le métal.

Les cartes météorologiques

Habituellement, un modèle peut nous aider à comprendre ce qui se passe et à prédire l'avenir ; la météorologie en offre un parfait exemple. Presque totalement imprévisible jusqu'aux années 1980, elle a depuis bénéficié des apports de la théorie du chaos, un modèle mathématique puissant qui étudie l'évolution des systèmes dynamiques. Nous disposons aujourd'hui de cartes prédictives performantes, un exemple d'illustrations étonnamment simples de processus complexes.



Le ciel nocturne nous offre l'un des plus beaux spectacles qui soit : celui de la Voie lactée, notre propre galaxie, qui contient 200 à 400 milliards d'étoiles.

La droite numérique

La droite numérique offre un autre exemple de représentation simple de la complexité. L'idée d'une séquence de chiffres le long d'une ligne, comme les divisions d'une règle, peut sembler triviale, mais elle constitue la base de l'arithmétique et de presque toutes les opérations mathématiques quotidiennes. C'est un modèle qui s'impose dans notre vie quotidienne.

Les cladogrammes

Moins familière est la façon de représenter l'histoire de la vie à travers les âges. Dans son ouvrage fondateur *De l'origine des espèces* (1859), Charles Darwin avait opté pour un arbre généalogique. Mais biologistes et paléontologues utilisent



plutôt aujourd'hui le « cladogramme », qui donne une meilleure image de l'évolution en s'appuyant sur des données génétiques : un arbre informatif qui situe les moments où des espèces se sont séparées de leurs ancêtres communs.

La double hélice de l'ADN

La génétique est née de la découverte de l'une des structures fondamentales de la vie : la molécule complexe d'ADN, deux brins antiparallèles enroulés l'un autour de l'autre pour former une double hélice. L'ADN contient toute l'information génétique d'un être vivant, sous la forme d'un motif spécifique de composés chimiques répartis sur toute sa longueur, comme les bits d'un fichier informatique.

Les symétries

La molécule d'ADN présente une sorte de symétrie, car elle se divise en deux moitiés, chacune capable de déterminer ce qui se trouve dans l'autre. La symétrie semble être un schéma fondamental de l'univers. Elle sous-tend une grande partie de la physique, depuis la conservation de l'énergie jusqu'à la classification des particules élémentaires. Il semble donc pertinent d'y consacrer notre dernier chapitre.

Les dix « modèles » fondamentaux que nous nous apprêtons à découvrir dans cet ouvrage nous offrent une vision fascinante de la réalité, ainsi que les moyens de mieux comprendre le fonctionnement de l'univers, de l'infiniment petit à l'infiniment grand.