

Didier Besset

L'UNIVERS

UNE HISTOIRE HUMAINE

de Lascaux à la découverte du Big Bang



L'UNIVERS
UNE HISTOIRE HUMAINE

Didier Besset

L'UNIVERS

UNE HISTOIRE HUMAINE

de Lascaux à la découverte du Big Bang

EPFL PRESS

Direction générale: Lucas Giossi
Directions éditoriale et commerciale: Sylvain Collette et May Yang,
assistés d'Emma Riallot
Direction de la communication: Prisca Thür-Bédert
Direction de la production: Christophe Borlat
Éditorial: Guillaume Bertrand, Alice Micheau-Thiébaud et Jean Rime
Graphisme: Kim Nanette
Recherche iconographique: Marie-Pascale Meunier
Marketing digital: Gabriel Hussy
Expertise scientifique: Pr Philippe-André Martin, Noëlle-Laetitia Perret
et Pr François Rothen
Comptabilité: Philipp Bachmann
Logistique: Émile Razafimanjaka

Image de couverture: Robert Fedez

EPFL PRESS est un label des Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), qui publient principalement les travaux d'enseignement et de recherche de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), des universités et des hautes écoles francophones.
PPUR, EPFL – Rolex Learning Center, CM Station 10, CH-1015 Lausanne,
info@epflpress.org, tél.: +41 21 693 21 30

www.epflpress.org

Première édition française
ISBN 978-2-88915-548-4
© EPFL PRESS/Presses polytechniques et universitaires romandes, 2023

Les Presses polytechniques et universitaires romandes bénéficient d'un soutien structurel de l'Office fédéral de la culture pour les années 2021-2024.

Tous droits réservés.
Reproduction, même partielle, sous quelque forme ou sur quelque support que ce soit, interdite sans l'accord écrit de l'éditeur.

Imprimé en République tchèque

*D'une lave en fusion, d'une pâte d'étoile,
d'une cellule vivante germée par miracle
nous sommes issus, et, peu à peu,
nous nous sommes élevés jusqu'à écrire
des cantates et à peser des voies lactées.*

Antoine de Saint-Exupéry,
Terre des hommes, 1938

À Louka, Loghan et Louve
À Sophie et ses Regards Étoilés

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	7
AVANT-PROPOS	21
Vous avez dit cosmologie ?	23
Vous avez dit science ?	24
Vous avez dit scientifiques ?	26
Vous avez dit histoire ?	27
Vous avez dit équations ?	28
Avertissement	28
CHAPITRE 1 LA TÊTE DANS LES ÉTOILES	31
Paléolithique – Émergence de l’astronomie	35
Parenthèse – Notions modernes d’astronomie	37
Néolithique – Premières technologies	39
CHAPITRE 2 ÉMERGENCE DES CIVILISATIONS	43
Civilisation de l’Indus	46
Civilisation égyptienne	48
Civilisation mésopotamienne	52
Civilisation chinoise	55
Civilisation maya	58
Civilisation de Norte Chico	61
En marge des empires	63
Cosmologie antique	65
CHAPITRE 3 ÉVEIL DE LA PHILOSOPHIE	67
Premiers philosophes	70
Système de numération	71
L’école de Milet	72
Les pythagoriciens	75
L’école d’Élée	78
Les atomistes	79
L’Académie	80

Premiers scientifiques	82
Aristote	82
Héraclide du Pont	85
Le rayonnement d'Alexandrie	85
Euclide	86
Aristarque de Samos	87
Archimède	88
Apollonios de Perga	90
Ératosthène	91
Hipparque	93
Posidonios	95
L'héritage grec	96
Cosmologie année 0	97

CHAPITRE 4 INTERMÈDE 99

Domination romaine	101
Crise de calendrier	102
Héron d'Alexandrie	103
Claude Ptolémée	103
Diophante	105
Désordre et alchimie	106
Fin du <i>Mouseion</i>	107
Jean Philopon	109
Crépuscule de la science grecque	110
L'Inde, creuset intellectuel	112
Apparition du zéro	114
Aryabhata	115
Varahamihira	117
Brahmagupta	118
Bhāskara I	118
Endormissement de la Chine	119
Zhang Heng	119
Zu Chongzhi	120
La restauration Ming	120
Les lumières arabes	122
Bayt al-hikma, la maison de la sagesse	123
Jabir ibn Hayyan	124
Al-Kwārizmī	125
Al-Kindi	127
Thābit ibn Qurra	128
Abd al-Rahman al-Sufi	129
Abū al-Wafā' Būzjānī	129
Ibn Yunus	129
Alhazen	129
Al-Biruni	130
Avicenne	131
Al-Zarqālī	132
Omar Khayyam	132
Fin de partie	133

CHAPITRE 5 RÉVEIL DE L'OCCIDENT	135
Préservation du savoir antique	138
Le christianisme celtique	139
Gerbert d'Aurillac	141
Les universités médiévales	142
Redécouverte de la science grecque	143
Le Philosophe	145
Leonardo Fibonacci	146
Pierre de Maricourt	148
Robert Grosseteste	149
Roger Bacon	150
Les calculateurs d'Oxford	151
Guillaume d'Ockham	152
Jean Buridan	153
Nicole Oresme	153
Une fin de période en demi-teinte	157
Ulugh Beg	157
Nicolas de Cues	158
Essor de l'imprimerie	159
 CHAPITRE 6 RENAISSANCE	 161
Alchimie, entre mysticisme et réalité	164
Prégnance du mysticisme	165
Paracelse	166
Les grandes découvertes	168
Johannes Werner	169
Pedro Nunes	171
Gemma Frisius	171
Découverte des nombres complexes	173
 CHAPITRE 7 LA RÉVOLUTION COPERNICIENNE	 177
Années de formation et débuts de Copernic	180
Le modèle héliocentrique	181
<i>De Revolutionibus</i>	184
La révolution	187
Acceptation, consécration et critiques	189
 CHAPITRE 8 CONSOLIDATION DE LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE	 191
Giovanni Benedetti	194
François Viète	196
William Gilbert	198
Thomas Digges	199

Giordano Bruno	200
Simon Stevin	201
John Napier	202
Michael Mästlin	204
Francis Bacon	205
Les premières sociétés savantes	207
Academia Secretorum Naturae	207
Accademia dei Lincei	207
CHAPITRE 9 L'HÉRITAGE DE COPERNIC	209
Bouleversements dans l'éther	211
Tycho Brahe	213
Johannes Kepler	217
CHAPITRE 10 NAISSANCE DE LA PHYSIQUE MODERNE	223
Vie de Galilée	225
Contributions de Galilée	234
Un ingénieur de talent	234
Observateur, mais pas astronome	235
Un talent pour la polémique	236
Le physicien	239
CHAPITRE 11 RÉCRÉATION LITTÉRAIRE	243
<i>The Man in the Moone</i>	245
<i>Somnium sive opus posthumum de astronomia lunari</i>	248
CHAPITRE 12 CRISTALLISATION DES SOCIÉTÉS SCIENTIFIQUES	251
Le cercle de Hartlib	254
Ismaël Boulliau	255
L'Academia parisiensis	257
Marin Mersenne	257
René Descartes	259
Pierre Gassendi	265
Pierre de Fermat	267
Gilles de Roberval	270
Blaise Pascal	271
Le collège invisible	273
John Wallis	274
Robert Boyle	275
L'Accademia del Cimento	276
La Royal Society	277
L'Académie royale des sciences	278

Des sociétés cosmopolites	280
Christiaan Huygens	280
Jean-Dominique Cassini	283
Vers des unités scientifiques	284
CHAPITRE 13 L'HORLOGE CÉLESTE	287
L'Observatoire royal de Paris	289
Jean Picard	290
Les expéditions de l'académie	294
Cartographie de la France	297
Ole Christensen Rømer	298
CHAPITRE 14 LA LOI UNIVERSELLE	301
Vie de Newton	303
La physique de Newton	308
<i>Opticks</i>	309
<i>Les Principia</i>	311
L'Univers newtonien	317
CHAPITRE 15 TRAJECTOIRES NEWTONIENNES	321
Les amis	323
Edmund Halley	323
Nicolas Fatio de Duillier	327
Les controverses	329
Robert Hooke	330
John Flamsteed	333
Gottfried Wilhelm Leibniz	335
Les convertis	340
Citron ou pamplemousse	341
Pierre de Maupertuis	342
Épilogue équatorien et provençal	349
Émilie du Châtelet	352
Alexis Clairaut	357
Questions de précision	359
James Bradley et l'aberration de la lumière	359
La longitude enfin !	361
CHAPITRE 16 CONSOLIDATIONS	365
D'Alembert, l'encyclopédiste	367
Les expérimentateurs méticuleux	370
John Michell	370
Charles-Augustin de Coulomb	373
Henry Cavendish	374
Un pseudo-scientifique	376

Antoine de Lavoisier	378
Mathématiciens et théoriciens	382
Joseph-Louis Lagrange	382
Pierre-Simon Laplace	384
William R. Hamilton	390
Découvertes astronomiques	392
Herschel frère et sœur	392
La chasse aux planètes	395

CHAPITRE 17 FLUIDES, ONDES ET COURANTS DANS LA MATIÈRE

.....	401
Thermodynamique	404
Daniel Bernoulli	404
John Dalton	406
Joseph Fourier	408
Sadi Carnot	413
James Prescott Joule	416
Rudolf Clausius	417
Ludwig Boltzmann	419
Ondes lumineuses	421
Thomas Young	421
Augustin Fresnel	423
Joseph Ritter von Fraunhofer	426
Électromagnétisme	428
Les précurseurs	429
Christian Ørsted	432
André-Marie Ampère	433
Johann Carl Friedrich Gauss	436
George Green	437
Michael Faraday	440
James Clerk Maxwell	446
<i>Les mécanismes d'une théorie</i>	448
<i>Le Traité</i>	450
<i>Les ondes électromagnétiques</i>	452
<i>Action à distance</i>	453
<i>Postérité</i>	454
La matière	454
Dmitri Mendeleïev	456
J. J. Thomson	459

CHAPITRE 18 TRIOMPHALISME ET DOUTES

.....	461
Les institutions	464
Les universités	464
Standardisation internationale	468
Le prix Nobel	468
Science et société	470
Le positivisme	470

William Thomson, Lord Kelvin	472
Dérapages occultes	477
Cosmologie 1900	479
La matière	479
La masse	480
Les forces en présence	481
Le scénario	483
Les incertitudes	484
<i>L'éther</i>	484
<i>La flèche du temps</i>	485
<i>Le centre de l'Univers</i>	486
CHAPITRE 19 VACILLEMENTS	487
L'expérience de Michelson et Morley	489
Les rayons X	491
La radioactivité	493
Henri Becquerel	493
Pierre Curie	494
Marie Curie	495
Activité radiante et effervescente	496
Le prix Nobel	500
Bienfait ou menace?	501
Le drame	501
Seule mais entourée	502
D'un scandale à un autre prix Nobel	503
L'Institut du radium	505
Les quanta	506
Max Planck	506
Répercussions	508
La matière nucléaire	509
Ernest Rutherford	509
Frederick Soddy	514
CHAPITRE 20 LA RELATIVITÉ	515
Vie d'Albert Einstein	517
<i>Annus mirabilis</i>	522
Premier article: l'effet photoélectrique	522
Deuxième article: mouvement brownien	524
Troisième article: relativité du temps	525
Quatrième article: équivalence masse-énergie	527
La théorie de la relativité	527
Un perdant	527
L'espace-temps	529
Généralisation	530
Finalisation	532
La relativité générale	533
La constante cosmologique	535

CHAPITRE 21 PREMIERS RELATIVISTES	537
Des soutiens	539
Emmy Noether	540
Arthur Eddington	541
Des visionnaires	544
Karl Schwarzschild	544
Alexander Friedmann	546
Georges Lemaître	549
CHAPITRE 22 LA FIN DES CERTITUDES	553
Résurgence des nombres entiers	556
Niels Bohr	557
L'atome de Bohr	559
Correspondance et complémentarité	560
Les observables	561
Louis de Broglie	561
La mécanique ondulatoire	562
L'onde pilote	563
Werner Heisenberg	564
La mécanique des matrices	566
Le principe d'incertitude	566
Erwin Schrödinger	567
La fonction d'onde	569
Le chat de Schrödinger	571
Wolfgang Pauli	571
Le principe d'exclusion de Pauli	574
L'hypothèse du neutrino	575
Paul A. M. Dirac	577
Découverte de l'antimatière	581
La théorie quantique des champs	582
Au-delà des forces	583
Yukawa Hideki	584
Les mousquetaires de l'électrodynamique quantique	586
<i>Tomonaga Shin'ichirō</i>	587
<i>Julian Schwinger</i>	588
<i>Richard Feynman</i>	589
<i>Freeman Dyson</i>	590
<i>Héritages</i>	592
Variables cachées ou non ?	593
Le paradoxe EPR	594
David Bohm	595
John Stewart Bell	597
CHAPITRE 23 LA SCIENCE EN GUERRE	601
Marie Curie sur le front	603
Découverte de la fission	604

James Chadwick	605
Lise Meitner	608
Frédéric Joliot	614
Enrico Fermi	618
Tube Alloys	621
Le mémorandum Frisch-Peierls	621
La Commission MAUD	622
Nom de code <i>Tube Alloys</i>	623
Uranverein	624
Les efforts au Japon	626
Manhattan Project	627
La lettre	627
The Uranium Committee	628
Manhattan District	630
La pile de Chicago	630
Los Alamos	632
La mission ALSOS	634
Trinity	635
Épilogues	636
En Suède	636
En Allemagne	638
En France	638
Aux États-Unis	640
Au Japon	641
Et la vraie science dans tout ça ?	641
CHAPITRE 24 BIG SCIENCE	643
Les accélérateurs	646
Les rayons cosmiques	646
Cockcroft et Walton	647
Ernest Lawrence	649
Création du CERN	652
La course aux hautes énergies	653
Le zoo des particules	656
Télescopes	657
Des miroirs plus grands	658
Un nouveau point de vue sur le cosmos	661
Création de l'ESO	665
Dépasser les limites	667
Nouvelles fenêtres	673
<i>Détecteurs de neutrinos</i>	674
<i>Détecteurs d'ondes gravitationnelles</i>	675
<i>Combiner les efforts</i>	678
S'affranchir des calculs... astronomiques!	679
Préhistoire de l'informatique	680
<i>Charles Babbage</i>	682
<i>Ada Lovelace</i>	685
Deux mathématiciens hors norme	689

<i>Alan Turing</i>	689
<i>La machine de Turing</i>	693
<i>Le test de Turing</i>	694
<i>John von Neumann</i>	696
<i>L'architecture de von Neumann</i>	700

CHAPITRE 25 **FIAT LUX!** 703

Les espaces infinis	705
Henrietta Leavitt	706
Edwin Hubble	708
<i>Des nébuleuses en fuite</i>	711
<i>La loi de Hubble-Lemaître</i>	711
Cecilia Payne-Gaposchkin	713
Jan Oort	716
L'enfance de l'Univers	719
Hans Bethe	719
George Gamow	721
<i>C.G.H. Tompkins, un autre interlude</i>	725
<i>L'article $\alpha\beta$</i>	726
Fred Hoyle	728
Un bruit de fond comme signature	730
Vous avez dit <i>Big Bang</i> ?	734
L'inflation cosmologique	735

CHAPITRE 26 **COSMOLOGIE 2023** 739

Structure de l'Univers	741
Les constituants de la matière	742
Les forces en présence	744
<i>L'interaction forte</i>	745
<i>L'interaction électromagnétique</i>	746
<i>L'interaction faible</i>	747
<i>La gravitation</i>	748
Les masses	749
Un vide qui ne l'est pas!	750
Le lagrangien du tout!	751
Le scénario	752
Une crise, encore et toujours	757
Gravitation contre mécanique quantique	758
<i>Théorie des cordes</i>	758
<i>Gravitation quantique à boucles</i>	758
Mais où est donc passée l'antimatière?	759
Matière noire	761
Énergie noire	766
<i>MOdified Newtonian Dynamics</i>	768
Constante de Hubble	769
Big Bang ou pas?	770

ET AU-DELÀ? 771

APPENDICES	775
Appendice A – L’abaque, première calculette	777
Appendice B – Preuve géométrique du théorème de Pythagore	778
Appendice C – Méthode des parallaxes	779
Parallaxe diurne	779
Parallaxe annuelle	781
Définition du parsec	781
Appendice D – Calculs d’Aristarque de Samos	782
Appendice E – Les mathématiques de Brahmagupta	786
Règles de calculs	786
<i>Additions</i>	786
<i>Soustractions</i>	786
<i>Multiplication</i>	786
<i>Division</i>	786
Notation algébrique	787
Appendice F – Les équations d’al-Khwārizmī	788
Appendice G – Découverte des nombres complexes	789
Appendice H – Les orbites planétaires dans le modèle de Copernic	792
Planètes intérieures : Mercure ou Vénus	792
Planètes extérieures : Mars et au-delà	792
Appendice I – De Perga, Copernic et Kepler	794
Appendice J – Gravitation universelle	798
Force centripète	798
Loi d’attraction des corps	799
L’attraction universelle	800
Le phénomène des marées	801
Vitesse de libération	803
Le trou noir	804
Appendice K – Les équations de Maxwell	806
Appendice L – Dimensions et unités	809
Analyse dimensionnelle	809
Constantes nécessaires	810
Unités naturelles	811
Appendice M – Métriques et géométries non euclidiennes	813
L’espace euclidien	813
La sphère, un espace de Riemann	814
La métrique de Poincaré	815
La métrique de Minkowski	815
La métrique de Schwarzschild	817
Instabilités dues à la constante cosmologique	817
Appendice N – Principe d’équivalence	819
Appendice O – Formules de Balmer et Rydberg	821
Appendice P – Notions de chimie nucléaire	822
Numéro atomique et poids atomique	822
Loi de déplacement de Fajans-Soddy	823
Brisure d’atome	823
Fission nucléaire	824

Détection des neutrinos	826
Appendice Q – Vie et mort d'une étoile	827
La chaîne proton-proton	827
Le cycle CNO	828
Phases ultérieures	829
Supernova	829
NOTES	831
BIBLIOGRAPHIE	855
Ouvrages consultés	857
Ressources web consultées	858
Textes originaux disponibles en ligne	858
Autres sites internet	860
INDEX	861
CRÉDITS ICONOGRAPHIQUES	875
REMERCIEMENTS	879

AVANT-PROPOS

*Pour peu qu'on ait réfléchi
sur la liaison que les découvertes
ont entre elles, il est facile de
s'apercevoir que les Sciences et
les Arts se prêtent mutuellement
des secours, et qu'il y a par
conséquent une chaîne qui
les unit.*

D'Alembert, Discours préliminaire
de l'Encyclopédie, 1751

De toutes les sciences naturelles, *la cosmologie* est celle qui présente la plus longue suite de découvertes. Il y a extrêmement loin, de la première vue du ciel à la vue générale par laquelle on embrasse aujourd'hui les états passés et futurs du système du monde. Pour y parvenir, il a fallu observer les astres pendant un grand nombre de siècles, reconnaître dans leurs apparences les mouvements réels de la Terre, s'élever aux lois des mouvements planétaires et de ces lois à *la structure même de notre espace et du temps*, redescendre enfin *de l'infiniment grand vers l'infiniment petit pour entrevoir la structure intime de la matière*. Voilà ce que l'esprit humain a fait dans *la cosmologie*. L'exposition de ces découvertes et de la manière la plus simple dont elles ont pu naître les unes des autres aura le double avantage d'offrir un grand ensemble de vérités importantes et la vraie méthode qu'il convient de suivre dans la recherche des lois de la nature.

Si un lecteur érudit dénonce un plagiat à propos du paragraphe précédent, il aura entièrement raison. Ce texte est le paragraphe qui ouvre *l'Exposition du système du monde*, publié en l'an VII de la Révolution française, soit en 1799, par Pierre-Simon, marquis de Laplace. Dans l'extrait plus haut, les mots du texte original ont été remplacés par ceux en italique¹. En effet, à la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles, la cosmologie n'existe pas encore en tant que science. Le propos de Laplace est donc l'astronomie. Pourtant, en décrivant la genèse du système solaire – analyse toujours considérée comme correcte de nos jours –, Laplace est le premier à produire un récit de la création de notre système solaire entièrement fondé sur une analyse scientifique et, ce faisant, le premier à écrire un chapitre de la cosmologie.

VOUS AVEZ DIT COSMOLOGIE ?

Contrairement à la *cosmogonie*, qui propose un récit mythologique de la création du monde, la *cosmologie* propose une description scientifique de l'évolution de l'Univers depuis une période aussi lointaine que possible jusqu'à nos jours, en se fondant uniquement sur la connaissance des lois de la nature. La cosmologie utilise un modèle théorique de l'évolution de l'Univers dont la véracité peut être vérifiée en comparant les prédictions de la théorie avec les observations. Ces modèles sont le plus souvent le résultat de simulations sur ordinateurs, ou à défaut, de considérations théoriques générales. Dans tous les cas, la pertinence du modèle est jugée par son adéquation avec les observations.

Cet ouvrage propose un panorama de l'histoire de la découverte des lois qui régissent l'Univers. La science est le terme générique qui décrit l'ensemble des disciplines qui ont pour but de mettre en évidence ces lois. Pour comprendre la cosmologie, il a fallu maîtriser des domaines variés, par ordre d'entrée sur la scène de l'histoire: astronomie, mathématiques, physique et chimie. Ces domaines sont communément appelés les *sciences exactes*. Dans le reste de cet ouvrage, j'utiliserai le mot *science* pour parler des sciences exactes.

VOUS AVEZ DIT SCIENCE?

Parmi les sciences, les mathématiques jouent un rôle particulier. Le raisonnement mathématique permet de découvrir des objets – éléments, concepts, propriétés ou structures – situés dans un monde idéal, abstrait, transcendantal que seule notre imagination peut appréhender. Le philosophe et mathématicien Friedrich Frege (1848-1925) explique dans *Les fondements de l'arithmétique* (1884):

« Tel le géographe, le mathématicien ne peut lui aussi que découvrir ce qui est déjà là, et lui assigner un nom. »

En effet, le monde des mathématiques existe, que l'*Homo sapiens* soit présent ou non dans l'Univers. D'autres espèces, douées de raison, résultant de l'évolution d'une autre vie sur des planètes orbitant autour d'autres étoiles, ont déjà trouvé, découvert ou vont identifier des objets mathématiques dont une partie a également été découverte par l'humanité. Si nous parvenions à entrer en contact avec ces extraterrestres, les objets mathématiques seraient un moyen infaillible d'établir une reconnaissance mutuelle de nos intelligences. L'exemple qui vient immédiatement à l'esprit serait de lister le début de la suite des nombres premiers sous une forme simple: groupes de points pour un contact visuel et physique, suite de bips dans une transmission radio.

La transcendance des objets mathématiques a conduit Platon et ses disciples à considérer que tout objet de la nature est la copie imparfaite d'un objet résidant dans un monde idéal: une *idée*. Car, dans le monde des mathématiques, la propriété d'un objet, une fois démontrée, est indiscutable et ne peut être remise en cause.

Contrairement aux mathématiques, l'astronomie, la physique et la chimie analysent le comportement des objets du monde réel pour en extraire des lois générales décrivant leur manière de se comporter et d'évoluer. Pour qu'une telle approche fonctionne, il est nécessaire que les mêmes causes produisent les mêmes effets. Il s'agit alors d'identifier les causes, comme l'explique Laplace dans sa *Théorie analytique des probabilités* (1812):

« Tous les événements, ceux même qui par leur petitesse semblent ne pas tenir aux grandes lois de la nature, en sont une suite aussi nécessaire que les révolutions du Soleil. Dans l'ignorance des liens qui les unissent au système entier de l'univers,

on les a fait dépendre des causes finales ou du hasard, suivant qu'ils arrivaient et se succédaient avec régularité ou sans ordre apparent; mais ces causes imaginaires ont été successivement reculées avec les bornes de nos connaissances, et disparaissent entièrement devant la saine philosophie, qui ne voit en elles que l'expression de l'ignorance où nous sommes des véritables causes.»

Un ensemble de lois s'appliquant dans un domaine bien défini s'appelle une théorie. Contrairement aux mathématiques, une loi de la nature ne peut être prouvée. Une théorie peut donc être remise en cause à tout moment dès qu'une nouvelle observation vient contredire une des lois qui la composent. Dès que possible, une nouvelle théorie, plus générale que la précédente, est alors mise au point pour remédier à la contradiction. Cette progression est le fondement de la méthode scientifique. Dans une présentation donnée aux Bell Labs en 1986, le mathématicien Richard Hamming rappelle l'équilibre subtil que tout scientifique se doit de respecter dans sa démarche :

«La plupart des gens aiment à croire qu'une chose est soit vraie soit fausse. Les grands scientifiques acceptent très bien les ambiguïtés. Ils accordent suffisamment de crédit à la théorie pour aller de l'avant; ils la mettent suffisamment en doute pour en discerner les erreurs et les limitations; ainsi, ils peuvent progresser et créer la théorie qui remplacera l'ancienne. Si vous avez trop confiance dans une théorie, vous n'en remarquerez jamais les fautes; si vous avez trop de doutes, vous ne pourrez rien entreprendre. C'est une question d'équilibre.»

Laplace, dans son *Exposition du système du monde*, préfère utiliser le terme de *probabilité* :

«On peut accroître la probabilité d'une théorie, soit en réduisant le nombre des hypothèses sur lesquelles on s'appuie, soit en augmentant le nombre de phénomènes qu'elle explique.»

Il n'est alors plus question de vrai ou de faux. Une telle démarche peut facilement dérouter les personnes non averties qui croient se comporter en scientifiques en doutant de tout. Leurs arguments se fondent sur les idées, mal assimilées, du philosophe Karl Popper, qui a reconnu que toute théorie scientifique ne peut être prouvée. Par exemple, dans son ouvrage *Conjectures et réfutations* (1963), il écrit :

«La science ne souscrit à une loi ou une théorie qu'à l'essai, ce qui signifie que toutes les lois et les théories sont des conjectures ou des hypothèses provisoires.»

Il est alors facile pour les adversaires de la science de rejeter toute théorie froissant leurs intérêts ou leurs croyances, en la qualifiant de *conjecture provisoire*. Une telle attitude a donné lieu à des remises en cause *aberrantes*. Par exemple, des personnes affirment que la Terre est plate, alors que la rotondité de la Terre est établie depuis l'Antiquité et

qu'elle peut être vérifiée par quiconque prend le temps d'observer le ciel. Malheureusement, l'observation du ciel n'est plus à la portée des citadins aveuglés par les lumières de la ville.

Je me permettrai donc de corriger la phrase de Popper, en disant qu'une théorie scientifique possède un domaine d'application limité. Par exemple, la mécanique newtonienne n'a pas été prouvée fautive par la relativité générale. La relativité générale ne fait que mettre en évidence les limites de la mécanique newtonienne : celle-ci peut être utilisée lorsque les objets considérés ont des masses relativement faibles par rapport à la masse d'une étoile et se déplacent à des vitesses modérées par rapport à la vitesse de la lumière. La mécanique newtonienne permet de calculer la trajectoire d'une sonde spatiale afin de la faire atterrir sur un astéroïde de cinq cents mètres de diamètre après un voyage de deux millions de kilomètres. Un tel exploit ne peut être le fruit d'une *fautive* théorie !

VOUS AVEZ DIT SCIENTIFIQUES ?

Pour les sciences, dont nous allons faire l'histoire, les lois de la nature ont ceci de particulier qu'elles ne dépendent pas de la personne qui les a, un jour, découvertes. Et pourtant, je pense, comme le dit le philosophe Walter Benjamin dans son ouvrage publié en 1940, *Über den Begriff der Geschichte*², que le but de l'historien est de

« faire voir comment la vie entière d'un individu tient dans une de ses œuvres, dans un de ses faits, [et] comment dans cette vie tient une époque entière ».

C'est pourquoi cet ouvrage mélange intimement les biographies des scientifiques avec l'histoire de leurs découvertes. J'ai aussi voulu souligner, lorsqu'il y en a, les erreurs que les scientifiques ont commises. Cela permet au lecteur d'apprécier la dimension humaine de ces personnes.

Ce cheminement à travers des vies de scientifiques a pour conséquence qu'il n'a pas été possible de suivre un parcours strictement chronologique. En effet, les trajectoires scientifiques se croisent et se fécondent. J'ai donc parfois suivi des enchaînements de découvertes limitées à un domaine restreint sur une certaine période ; puis j'ai dû effectuer un retour dans le temps pour aborder un autre domaine.

Il a également fallu effectuer des choix, subjectifs sans aucun doute. Certains scientifiques n'apparaissent que comme personnages secondaires, parce que leur contribution, certes non négligeable, ne touche pas d'assez près, m'a-t-il semblé, l'itinéraire menant à la cosmologie.

Le mot *scientifique* est employé pour désigner quiconque travaillant à établir les lois de la nature. J'ai choisi d'utiliser ce nom à la place du mot *savant*, une dénomination un peu ringarde de nos jours, pour nommer toute personne ayant contribué à l'avancement des sciences, quelle que soit l'époque à laquelle elle a vécu. Pour la plupart d'entre elles, il s'agit d'un anachronisme totalement assumé.

En effet, le mot *scientifique* ne s'emploie dans la langue française que depuis le début du XX^e siècle. Cette dénomination est une traduction du mot anglais *scientist*, lui-même forgé en 1834 par William Whewell, maître du Trinity College de Cambridge. Whewell introduit ce néologisme, en imitation du mot *artist*, pour parler de la mathématicienne Mary Somerville qu'il ne pouvait qualifier « d'homme de science », terme convenu à son époque. De plus, en français, le mot *scientifique*, tant qu'il n'est pas associé à un adjectif, a l'avantage de pouvoir être utilisé indifféremment du genre. Car, comme pourra le constater le lecteur, nombre de scientifiques sont des « femmes de science ».

VOUS AVEZ DIT HISTOIRE ?

Ce livre est le livre que j'aurais aimé lire lors de mes études de physique. Les professeurs de matières scientifiques ne prennent pas le temps d'expliquer tous les problèmes liés à une découverte. Au plus, en mentionnent-ils un. La plupart du temps, les équations ayant marqué la découverte, revues et corrigées par la postérité, apparaissent sur le tableau noir et on passe à leurs implications.

Or il est toujours intéressant de se poser la question de l'état de la science juste avant une découverte. Si celle-ci a provoqué un changement de paradigme important, c'est que les scientifiques se trouvaient face à une crise, comme l'a analysé Thomas S. Kuhn³. Leurs tâtonnements face à une crise en disent beaucoup sur la découverte elle-même. Thomas S. Kuhn en conclut qu'il faudrait enseigner la science uniquement par son histoire aux élèves des branches non scientifiques. Je suis tout à fait d'accord avec lui. Pour avoir enseigné la physique à de futurs médecins – forcé que j'étais de leur faire apprendre, sans qu'ils les comprennent vraiment, des équations servant uniquement à éliminer le trop-plein d'étudiants en première année d'université, équations oubliées aussitôt les examens passés –, je suis persuadé qu'un cours d'histoire des sciences serait bien plus efficace afin de leur inculquer les valeurs scientifiques indispensables à leur futur métier. J'espère que cet ouvrage sera un jour utilisé pour parler de science aux étudiants des matières littéraires, politiques, commerciales, voire médicales.

Si on choisit d'aborder les sciences par l'histoire, la question se pose de savoir jusqu'où remonter dans le passé : période moderne, Moyen Âge, Antiquité ? J'ai pris le parti de remonter aussi loin qu'il est encore possible de déceler, dans les artefacts mis au jour par les archéologues, une trace de raisonnement que l'on peut qualifier de scientifique. Dans le passé lointain de l'humanité, il n'était certes pas question de cosmologie. Pourtant, des sciences s'y sont développées, des outils ont été mis au point, une démarche de plus en plus efficace a été établie pour analyser les phénomènes naturels ; et tout ceci a permis aux générations suivantes d'étayer des théories plus poussées.

VOUS AVEZ DIT ÉQUATIONS ?

Le plus fascinant dans l'histoire des sciences, et de la physique en particulier, est que des concepts mathématiques – considérés au début comme de pures abstractions, tels les nombres complexes ou la géométrie non euclidienne – se sont par la suite révélés utiles pour exprimer des lois physiques. Déjà au XVIII^e siècle, le mathématicien Leonhard Euler affirme sa foi dans le pouvoir précurseur des mathématiques, en écrivant, dans son *Commentatio de matheseos sublimioris utilitate*⁴ :

« La vérité n'est pas seulement louable par elle-même, mais en outre, à cause d'un lien suprême grâce auquel toutes les vérités sont cohérentes entre elles, elle ne peut être dépourvue d'utilité, même si son usage n'est pas aperçu dans l'immédiat. »

On remarquera que, pour Euler, les mathématiques sont *la vérité*.

Puisque les lois de la physique s'expriment sous forme mathématique et, plus précisément, sous forme d'équations, je me suis heurté à un dilemme. Fallait-il montrer des équations ? J'ai finalement fait un compromis. Les équations sont rares dans le texte principal. En revanche, il m'a semblé utile d'approfondir certains concepts dans les appendices en présentant les équations afférentes. Un lecteur curieux pourra y suivre des calculs – la plupart du niveau d'un lycéen – afin de mieux comprendre un argument.

AVERTISSEMENT

N'étant pas historien, je n'ai pas la prétention d'écrire un ouvrage d'érudition ou de référence. C'est pourquoi le lecteur ne trouvera pas la multitude de notes – habituelles dans les livres d'historiens – renvoyant à la page d'un ouvrage d'où une affirmation est tirée. Ici, les notes se limitent à donner les traductions des titres d'ouvrages et d'articles dans leur langue d'origine, à expliquer quelques termes techniques et à fournir les références des citations qui ne sont pas mentionnées explicitement dans le texte.

Le but de ce livre est de donner envie au lecteur d'aller plus loin car, pour limiter la taille de l'ouvrage, il a fallu passer sous silence de nombreux détails. Le lecteur trouvera donc, dans la bibliographie, la liste des sources utilisées. Je ne saurais trop recommander la lecture des textes originaux cités. La plupart d'entre eux sont accessibles sur internet. Le site web de l'Académie des sciences permet d'accéder aux hommages posthumes de tous ses membres. Le site du prix Nobel permet de lire les leçons données par les lauréats anciens et, pour les lauréats modernes, de visionner la vidéo de leur présentation. Le site web de l'American Institute of Physics (AIP) contient les interviews des grands acteurs de la physique du XX^e siècle. Enfin, le site de la Bibliothèque nationale de France est une mine d'or incroyable pour retrouver de vieux écrits : livres, lettres et journaux.

Les dates auxquelles les personnages de l'Antiquité ont vécu varient selon les auteurs. J'ai finalement pris le parti de citer celles publiées dans Wikipédia au moment de la rédaction.

De nombreuses citations ont été extraites à partir d'ouvrages de langue anglaise ou allemande. Ces citations sont données avec ma propre traduction.

Les noms japonais et chinois sont donnés dans l'ordre nom-prénom, selon la coutume au Japon et en Chine.

LA TÊTE DANS LES ÉTOILES

*La nuit cache le monde,
mais révèle un univers.*

Proverbe Perse

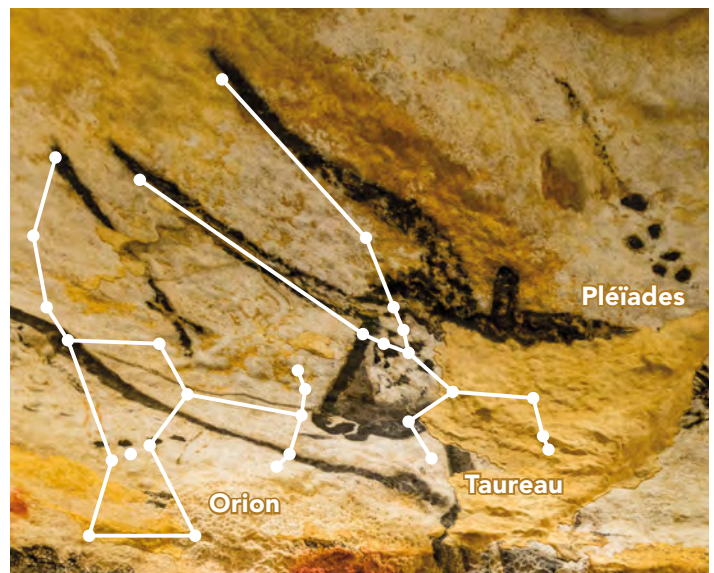
*Le ciel étoilé offre
une leçon de sagesse à
qui sait le regarder: s'y
perdre, c'est se trouver.*

Michel Onfray,
Cosmos, 2015

Lorsqu'on visite la réplique de la grotte de Lascaux, on arrive sous la première fresque comme le faisaient, quelque dix-sept mille ans avant nous, les artistes qui ont orné cet espace rupestre. Lors de ma première visite, mon regard a tout de suite été attiré par plusieurs groupes de points situés autour de l'auroch qui domine la voûte. Un groupe de six points se trouve au-dessus de son épaule, un autre à l'intérieur de la tête; enfin, un dernier groupe de trois points alignés est situé un peu à l'écart, en avant du museau. Un visiteur plus rapide que moi a interrogé le guide sur la signification de ces points. Celui-ci a donné la réponse standard que l'on donne à propos de tout art pariétal non figuratif: ces points devaient être une sorte de signature ou de tracé à signification chamanique.

Cette explication ne m'a satisfait qu'à moitié, surtout parce que les points n'apparaissent qu'autour de cet auroch et nulle part ailleurs. Finalement, je suis tombé sur plusieurs articles faisant un rapprochement, certes audacieux, entre le dessin de Lascaux et la constellation du Taureau. En plaçant les cornes de l'auroch sur le V que forme la constellation du Taureau, les six points au-dessus de l'épaule coïncident avec l'amas des Pléiades, ceux dans la tête avec celui des Hyades et les trois points de devant avec la ceinture de la constellation d'Orion. Un groupement d'étoiles en constellations est arbitraire, dicté par des conventions culturelles.

Toutes les constellations visibles depuis l'hémisphère nord nous viennent des Grecs, qui les avaient eux-mêmes obtenues des Mésopotamiens et des Égyptiens en les transformant ou, au besoin, en les réorganisant. Le vieil homme appuyé sur une canne des Mésopotamiens est devenu Orion; la déesse Thouris s'appuyant sur un bâton des Égyptiens a été remplacée chez les Grecs par un dragon, tandis que le bâton est devenu la queue de la Grande Ourse. Autre exemple, la constellation du Scorpion qui est vue à l'envers depuis l'hémisphère sud est interprétée comme l'hameçon de Maui par les Polynésiens. Maui est un demi-dieu, héros de nombreuses légendes. Dans l'une d'elles, il crée les îles polynésiennes en tirant la terre du fond de l'océan avec cet hameçon céleste.



Auroch de Lascaux avec superposition des constellations du Taureau, d'Orion et des Pléïades.



La constellation du Taureau est quant à elle particulière car, en raison de la forme caractéristique de la tête de l'animal bien reproduite par le V que forme une partie du groupe d'étoiles qui la composent, elle a été associée à un bovidé par beaucoup d'anciennes cultures. Les Babyloniens y voyaient un taureau céleste, les Égyptiens le taureau Apis. Selon certains archéologues, dans des temps très anciens, la constellation du Taureau était plus étendue, incluant les étoiles des constellations actuelles de la Baleine et du Bélier. La partition en plusieurs constellations a été vraisemblablement causée par la découverte du zodiaque et le besoin de diviser celui-ci en douze sections afin de reproduire les mois lunaires. La forme de l'auroch de Lascaux pourrait correspondre à l'ancienne version étendue de la constellation du Taureau.

Grâce à nos connaissances actuelles en astronomie, on est capable de retrouver la configuration des étoiles pour la région de Lascaux à l'époque présumée de la réalisation des fresques, il y a environ dix-sept mille ans. D'abord, on a pu ainsi vérifier que la position relative de toutes ces étoiles n'avait pas beaucoup changé depuis, l'aspect des constellations étant semblable à celui que nous pouvons observer encore aujourd'hui. Ensuite, les paléoastronomes ont pu établir qu'à cette époque, l'apparition des Pléiades dans le ciel, peu avant le lever du Soleil, correspondait à l'équinoxe du printemps, raison suffisante pour faire de cet astérisme¹ un repère remarquable dans le ciel pour les Magdaléniens, peuple à qui on attribue les peintures de Lascaux.

L'amas ouvert
des Pléiades
vu au télescope.
L'exposition longue
(onze heures)
permet de faire
ressortir le gaz
où se trouvent
les étoiles.

PALÉOLITHIQUE – ÉMERGENCE DE L'ASTRONOMIE

Les Magdaléniens sont des *Homo sapiens* comme nous. Nous appartenons à cette même espèce dont les caractéristiques physiologiques n'ont pas évolué au cours des quelque deux cents derniers millénaires. En particulier, les capacités intellectuelles des *Homo sapiens* sont restées les mêmes depuis qu'ils sont apparus sur Terre. Il semble donc tout à fait justifié de prêter aux Magdaléniens la capacité de reproduire sur le plafond d'une grotte une partie de la voûte céleste. Il est du reste concevable que, en raison de leur bipédie qui leur a permis d'arpenter la savane, tous les individus des lignées humaines ont eu très tôt la tête dans les étoiles.

Des vestiges d'observations astronomiques bien plus vieux que les fresques de la grotte de Lascaux ont été mis à jour. Des os de rennes et de mammoth gravés retrouvés en Europe du Sud-Est sont interprétés comme les plus vieux calendriers lunaires connus. Ces os, qui sont aussi les œuvres d'*Homo sapiens*, sont vieux de quarante mille ans, c'est-à-dire antérieurs d'au moins vingt mille ans aux fresques de Lascaux.

Il est donc plausible que les communautés du paléolithique ont observé le ciel, de jour comme de nuit, depuis quarante mille ans ou plus, et qu'elles en aient tiré des enseignements sur l'écoulement du temps et la corrélation qu'il pouvait y avoir entre la configuration des étoiles dans le ciel nocturne et l'arrivée de telle ou telle saison. Savoir prédire les saisons devait être déjà un avantage pour une société de chasseurs-cueilleurs, leur permettant ainsi d'anticiper un déplacement vers leurs terrains de chasse saisonniers et les endroits où effectuer leurs cueillettes.

Quelles observations les *Homo sapiens* pouvaient-ils faire à cette époque ?

Pour commencer, il y a l'alternance du jour et de la nuit. Le jour, il y a le Soleil, cet astre éblouissant qui se lève à l'est et se couche à l'ouest. Personne ne peut le regarder en face très longtemps, mais sa course dans le firmament peut être suivie par le déplacement de l'ombre d'un objet fixe, un rocher, une montagne ou un bâton planté dans le sol.

Puis, la nuit, il y a une myriade d'objets lumineux, les étoiles. Une partie d'entre elles se lève à l'est et se couche à l'ouest, comme le Soleil durant la journée. D'autres se contentent de tourner au-dessus des têtes. À première vue, toutes semblent suivre des trajectoires semblables à celle du Soleil.

Ensuite, il y a ce drôle d'objet – très brillant lui aussi, mais pas autant que le Soleil – qui navigue tantôt la nuit, tantôt le jour, qui change de forme au point de disparaître complètement à certains moments : la Lune. La forme de cet objet se répète régulièrement tous les trente jours environ². C'est ce que nous appelons aujourd'hui les phases de la Lune. Cette périodicité de plus longue durée, qui rappelle celle des menstruations de la femme, a conduit l'humanité à faire un décompte en lunaisons, c'est-à-dire en mois. De plus, lorsque la Lune reprend une forme donnée, elle se trouve plus ou moins à la même place dans le ciel par rapport aux étoiles³. C'est justement ce *plus ou moins* qui a amené les *Homo sapiens* à réaliser des observations plus précises et à noter celles-ci sur des supports non périssables, comme ces omoplates de rennes retrouvées en Ukraine, afin de pouvoir les comparer avec des observations ultérieures.

La prochaine étape de l'observation du ciel requiert déjà un raisonnement poussé et nécessite l'accumulation d'observations sur une plus longue période. En remarquant que la Lune, pour une phase donnée, ne se trouve pas exactement à la même place par rapport aux étoiles que celle qu'elle avait lors de la *lunaison* précédente, les *Homo sapiens* se sont posé la même question pour le Soleil. Comme il est impossible de distinguer les étoiles autour du Soleil, ils ont observé la configuration des étoiles juste avant le lever du Soleil, en extrapolant la position que le Soleil aurait lors de son apparition. On peut aussi faire ce genre d'observation en notant l'endroit où le Soleil s'est couché et en observant les étoiles qui apparaissent à cet endroit.

Les résultats de telles observations sont d'une part que le Soleil et la Lune se déplacent dans une bande restreinte du ciel, le *zodiaque*, d'autre part que le Soleil reprend la même place dans le ciel après une longue période d'environ douze mois. Or cette période de douze mois, l'année, correspond à l'alternance des saisons. Cette corrélation entre le retour des saisons et la position du Soleil par rapport aux étoiles n'a pas échappé aux *Homo sapiens*. Pour des observateurs vivant dans les zones tempérées, loin de l'équateur, le Soleil se trouve haut dans le ciel à la saison chaude et il reste bas à la saison froide. Les tribus qui restaient suffisamment longtemps au même endroit ont pu même constater que le point de lever du Soleil (et celui du coucher) bougeait par rapport aux repères terrestres, mais revenait à la même place d'année en année.

Grâce à cette régularité du mouvement des astres, les Magdaléniens de Lascaux ont pu observer que le lever héliaque des Pléiades, c'est-à-dire leur apparition dans le ciel juste avant le lever du Soleil, avait lieu au début du printemps, l'instant de l'année où la nature se réveille après l'hiver, un moment clé dans l'année d'une tribu de chasseurs-cueilleurs comme le souligne Michel Onfray dans *Cosmos* :

« Connaître le mouvement des astres, c'est savoir les saisons; savoir les saisons, c'est envisager la vie ou la survie du groupe : les chasseurs-cueilleurs peuvent prévoir le passage des troupeaux, l'arrivée des fruits, des baies. »

L'étude du ciel avant le lever du Soleil permet de mettre en évidence deux astres au comportement irrégulier. Ces astres très brillants accompagnent le Soleil de temps en temps, puis disparaissent. Ils reviennent à leur place régulièrement, mais la périodicité de leur retour ne peut être corrélée avec rien de connu. Il en est de même pour deux astres qui apparaissent après le coucher du Soleil. Il faudra du temps pour que les *Homo sapiens* comprennent qu'il s'agit des mêmes objets. Finalement, des observateurs attentifs peuvent remarquer trois astres, très brillants eux aussi, mais qui se promènent à des endroits différents du ciel par rapport aux étoiles. Le mouvement de ces astres semble erratique de prime abord. Il change parfois de direction (on parle de mouvement rétrograde).

Pourtant, à force d'observations effectuées sur plusieurs années, ce mouvement se révèle périodique, mais sans que cette périodicité ne puisse être reliée à un phénomène terrestre. Ces cinq astres au comportement particulier, voire autonome, sont les planètes. Leurs positions dans le ciel, quoique très irrégulières, restent confinées dans la bande du zodiaque, donnant ainsi à cette portion du ciel une importance accrue.

Toutes ces observations requièrent un raisonnement scientifique à part entière. Non seulement il est nécessaire d'avoir réalisé des observations précises, de les avoir consignées, ou transmises oralement à la mémoire collective du groupe, mais il est de plus indispensable d'établir des extrapolations de la position du Soleil sur la voûte céleste. On peut donc affirmer que de telles observations astronomiques constituent le plus ancien témoignage de recherche scientifique. Elles constituent un point de départ à l'aventure humaine la plus incroyable.



Selon l'astronome anglais Fred Hoyle (voir p. 728), si l'humanité était apparue sur une planète constamment dans les nuages, elle n'aurait pas pu développer les mathématiques et donc la physique. En supposant qu'un raisonnement scientifique ait émergé, le savoir scientifique se serait probablement concentré sur les sciences biologiques. La régularité du système solaire – à savoir que les orbites des planètes autour du Soleil sont pratiquement circulaires – a été une autre chance, car cela a permis à l'humanité de pouvoir prédire le mouvement des astres avec des modèles très simples, donnant l'illusion qu'une compréhension de la mécanique céleste était possible.

Les observations astronomiques instillent dans la conscience des *Homo sapiens* la notion d'un Univers en mouvement régulier, prédictible, répétitif, dont la durée transcende la vie humaine. Cette vision d'un ordre cyclique et immuable va permettre aux *Homo sapiens* de définir, de mesurer le temps qui passe et leur donner à entrevoir la notion de l'infini.

PARENTHÈSE – NOTIONS MODERNES D'ASTRONOMIE

Dans la section précédente, les observations, à la portée des *Homo sapiens* dès l'apparition de cette espèce sur Terre, ont été décrites volontairement sans référence à nos connaissances actuelles, afin de laisser le lecteur dans la situation d'un observateur paléolithique. Pour mettre ces observations dans une perspective plus moderne, une revue rapide de la structure de notre système solaire s'avère utile.

Le Soleil est une étoile, c'est-à-dire une boule de matière en fusion nucléaire, dont le rayonnement est l'unique source d'énergie de la vie sur Terre⁴. C'est la seule source de lumière à moins de quatre années-lumière aux alentours. En raison de cette grande distance, les étoiles nous apparaissent comme fixées sur une grande surface bombée : la sphère céleste.

Mouvement rétrograde de la planète Mercure. Ce mouvement apparent se produit lorsque la Terre dépasse Mercure angulairement par rapport au Soleil.

Tout objet faisant partie du système solaire est soit en orbite autour du Soleil, soit en orbite autour d'un autre objet. Dans ce dernier cas, on l'appelle *satellite* ou *lune*. Toutes les orbites sont des ellipses; l'objet autour duquel un autre gravite se trouve à l'un des foyers de cette ellipse. À part le Soleil, les objets du système solaire ne doivent leur éclat qu'à la lumière du Soleil réfléchi par leur surface.

Les plus gros objets sont les planètes qui tournent autour du Soleil. Leurs orbites se trouvent à peu près dans le même plan. Elles ont une excentricité faible, c'est-à-dire que la forme de leur orbite est très proche de celle d'un cercle. Cependant, même une faible excentricité suffit à décaler le Soleil de façon notable du centre de cette orbite. La quasi-circularité des orbites de planètes, comme nous l'avons dit, a permis à des scientifiques de concevoir très tôt des modèles simples permettant de reproduire ces mouvements. Ainsi, l'humanité a pu entrevoir que les cieux sont régis par des lois à la portée d'une personne douée de raison. *A contrario*, les trajectoires des comètes sont longtemps restées une énigme, comme en témoigne Sénèque Le Jeune (1-65) dans ses *Naturales quaestiones*⁵ :

« Devons-nous donc être surpris si les comètes, dont les apparitions sont si rares, ne semblent point encore soumises à des lois constantes, et si nous ne pouvons encore déterminer le cours d'astres dont les retours ne se font qu'après de si grands intervalles? [...] Un jour viendra où le temps et le travail auront appris ce que nous ignorons. La durée de notre vie ne suffit pas pour découvrir de si grandes choses, quand elle y serait tout employée; qu'en peut-on espérer lorsqu'on en fait un misérable partage entre l'étude et les vices? »

Le nom *planète* vient d'un mot grec qui signifie *errant*. Les planètes tournent autour du Soleil à des distances, donc à des périodicités différentes. On appelle *période de révolution* le temps nécessaire à une planète pour achever un tour complet autour du Soleil. Saturne, la plus éloignée des planètes visibles à l'œil nu, a une période de révolution de plus de vingt-neuf années, alors que Mercure, la plus proche du Soleil, effectue sa révolution en quatre-vingt-huit jours environ.

La Terre où nous vivons est l'une de ces planètes. Elle est située à une distance moyenne du Soleil d'environ cent cinquante millions de kilomètres. Cette distance est appelée *unité astronomique*. La période de révolution de la Terre est par définition d'une année. La Terre tourne sur elle-même en vingt-quatre heures. Ce mouvement de rotation est la cause du mouvement apparent du Soleil durant une journée et des astres durant une nuit. C'est ce qu'on appelle *le mouvement diurne*. En lieu et place de la rotation de la Terre, un observateur terrestre perçoit une rotation de la sphère céleste dans le sens opposé.

La Lune tourne autour de la Terre en vingt-neuf jours environ. Dans la mesure où elle est suffisamment proche de la Terre, nous pouvons distinguer la portion éclairée par le Soleil de celle qui ne l'est pas. Les phases de la Lune proviennent de sa position relative par rapport au Soleil.

La Terre orbite autour du Soleil en une année, mais son axe de rotation est incliné sur le plan de son orbite, en gardant une direction constante dans l'espace. Cette inclinaison

est responsable de l'alternance de la longueur des jours. Les *Homo sapiens* vivant dans des zones tempérées ont divisé l'année en quatre saisons, s'appuyant sur quatre jours de l'année : le solstice d'été – le jour de l'année le plus long pour les personnes habitant l'hémisphère nord – ; le solstice d'hiver – le jour de l'année le plus court – et les équinoxes de printemps et d'automne, où la longueur du jour et de la nuit est identique. Cependant, la durée des saisons n'est pas la même. La durée entre l'équinoxe du printemps et celui d'automne est plus grande de sept jours environ que la durée entre l'équinoxe d'automne et celui du printemps suivant. L'intersection du plan de l'orbite de la Terre avec la sphère céleste s'appelle l'*écliptique*. Ce cercle est au centre du zodiaque.

Le paragraphe précédent contient une erreur ! Cette erreur, indétectable pour les *Homo sapiens* de la préhistoire, ne sera découverte qu'au III^e siècle avant Jésus-Christ. En réalité, la direction de l'axe de rotation de la Terre n'est pas constante. Ce phénomène est connu sous le nom de *précession des équinoxes*. Il a été repéré parce que la direction des levers de Soleil aux équinoxes (mais aussi aux solstices) varie sur de grandes périodes par rapport aux étoiles. La périodicité de ce mouvement est de vingt-six mille ans environ. C'est pourquoi, à notre époque moderne, le lever héliaque des Pléiades n'a plus lieu au printemps, comme au temps des Magdaléniens, mais au début de l'été. Ainsi, le poète grec Hésiode écrivait-il déjà au VIII^e siècle avant Jésus-Christ, dans son poème *Les Travaux et les Jours* : « Au lever des Pléiades, filles d'Atlas, commencez à moissonner, et à leur coucher, à labourer. »

D'autres objets du système solaire sont visibles à l'œil nu : les comètes et les météorites, communément appelées *étoiles filantes*. Les comètes se meuvent sur des orbites elliptiques à forte excentricité. La dimension de ces orbites est de l'ordre de celle du système solaire. La plus connue, la comète de Halley, s'éloigne à plus de trente-cinq unités astronomiques et revient périodiquement près du Soleil tous les soixante-seize ans. L'apparition d'une comète est donc un phénomène rare. Les météorites sont des fragments de matière qui tombent sur la Terre et brûlent dans l'atmosphère terrestre en y entrant. Leur occurrence est plus fréquente, surtout lorsque la Terre traverse d'anciennes trajectoires de comètes qui ont laissé des débris derrière elles.

Fort de ces explications, je recommande au lecteur d'aller au moins une fois dans un désert ou, à défaut, dans une zone épargnée par la pollution lumineuse, et d'y contempler la voûte céleste sur une période suffisamment longue pour déceler les mouvements des astres, afin de mieux apprécier ce que des humains du paléolithique pouvaient ressentir face au ciel. La quantité d'étoiles que nos ancêtres pouvaient voir est impressionnante. De nos jours et dans les zones habitées, la pollution lumineuse est telle que seules les étoiles brillantes restent visibles.

NÉOLITHIQUE – PREMIÈRES TECHNOLOGIES

Vers le X^e millénaire avant notre ère, les humains ont appris à domestiquer les animaux et à cultiver des plantes. Ces animaux et ces plantes ne sont pas les mêmes selon la région du globe où ces apprentissages ont eu lieu, ce qui tend à prouver que cette étape s'est

produite de façon indépendante en plusieurs d'endroits. D'aucuns parlent de *révolution néolithique* mais, de nos jours, les paléontologues s'accordent sur le fait que la transition a eu lieu progressivement, sur plusieurs générations, voire sur plus d'un millénaire.

La néolithisation s'est accompagnée d'une sédentarisation des groupements humains et du développement de techniques agricoles pour améliorer les rendements (utilisation des excréments comme engrais) et une meilleure utilisation des surplus. Les besoins de stockage ont engendré le développement de la poterie qui nécessite un four, une infrastructure suffisamment importante pour que des personnes pratiquent cette activité à temps complet comme moyen de subsistance. Les premiers métiers à tisser apparaissent. Pour tous ces domaines, on ne peut pas parler de science. Il s'agit de techniques qui vont progressivement se mettre en place : sélection des semences, des animaux, tour de potier, utilisation d'animaux pour le transport.

Bien entendu la connaissance du calendrier, c'est-à-dire le pouvoir de prédire les saisons, est restée tout aussi importante qu'auparavant, voire plus, dans la mesure où des semailles faites à une mauvaise date font planer le risque d'une famine sur une communauté. Mais cette fois, au lieu de graver leurs observations astronomiques sur des os, les humains vont construire des outils dans ce but.

Au début, un gnomon – c'est-à-dire, un simple bâton planté dans le sol ou dans un mur – peut suffire, mais la précision d'un tel outil est limitée par sa taille et sa durabilité. Dans les zones montagneuses, on a gravé des pictogrammes sur des roches qui permettent de suivre l'ombre d'une autre roche ou d'un pic montagneux, par exemple dans la vallée des Merveilles au nord de Nice. Dans les zones de plaine, il a fallu recourir à d'autres moyens. Ainsi certains humains du néolithique ont été amenés à construire des *observatoires* de plus en plus grands.



Vers 4900 avant Jésus-Christ, une communauté construit un cercle de pierres de quatre mètres de diamètre autour de deux rangées parallèles de trois mégalithes à Nabta Playa en Haute-Égypte, à cent kilomètres à vol d'oiseau du grand temple d'Abou Simbel. Dans ce cercle, quatre paires de mégalithes définissent des lignes de visée. Une de ces lignes pointe vers l'endroit du lever du Soleil au solstice d'été. À l'époque où

cet observatoire a été construit, cette date marquait le début de la saison des pluies. À la même époque, une structure en terre a été construite à Goseck en Allemagne. Cette structure est alignée sur le lever et le coucher du Soleil du solstice d'hiver.

Le temple mégalithique de Mnajdra sur l'île de Malte contient une zone présentant des structures alignées sur les points astronomiques. La lumière du lever du Soleil pénètre dans l'axe du temple aux équinoxes et elle touche deux mégalithes placés de part et d'autre de l'entrée principale lors des solstices. Cette zone a été construite vers 3150 avant Jésus-Christ. Une pierre gravée de trous semble correspondre à un calendrier lunaire.

À Newgrange, en Irlande, un tumulus de quatre-vingts mètres de diamètre a été érigé vers 3000 avant Jésus-Christ. Sa fonction originelle est celle d'une tombe. Cependant, on a pu établir qu'à l'époque de l'érection de ce monument, le couloir d'accès à la chambre mortuaire était dirigé de façon à laisser pénétrer, le jour du solstice d'hiver, les rayons du Soleil à son lever jusque dans la chambre funéraire. Aujourd'hui, en raison de la précession des équinoxes, la lumière pénètre dans le monument quatre minutes après le lever.

Une culture néolithique établie sur le site de Stonehenge en Angleterre depuis l'an 8000 avant Jésus-Christ construisit (vers 1800 av. J.-C.) un cercle mégalithique. Selon les archéologues, il y eut plusieurs édifices en bois à partir de 2800 avant Jésus-Christ, soit avant l'érection des mégalithes. La conception de cet *observatoire* est très similaire à celle de l'Observatoire de Nabta Playa, mais sa taille est bien plus grande : le cercle extérieur fait trente-trois mètres de diamètre, le monument étant lui-même entouré d'une levée de terre de cent dix mètres de diamètre. Les mégalithes formant les cercles pèsent environ vingt-cinq tonnes et les linteaux sept tonnes. Beaucoup d'entre eux sont encore en place. Il est l'observatoire solaire néolithique le plus connu et le plus étudié. Une des lignes de visée pointe vers le lever du Soleil au solstice d'été. Des travaux effectués conjointement par des paléontologues et des astronomes (dont Fred Hoyle, déjà cité) ont mis en évidence d'autres lignes de visée correspondant à des calendriers solaires et lunaires.

De nombreux autres cercles de pierres ont été érigés dans toutes les îles Britanniques, mais ont été endommagés par les générations suivantes, ce qui, d'une part, rend leur datation très difficile, d'autre part, ne permet pas d'affirmer de façon irréfutable qu'il s'agissait bien d'observatoires astronomiques.

La réalisation de telles structures a nécessité une importante main-d'œuvre. On parle de millions de jours-hommes pour la construction de Stonehenge. Tous les historiens s'accordent sur le fait que cette main-d'œuvre n'a été rendue possible que grâce à l'abondance de nourriture permise par les progrès de l'agriculture du néolithique. Mais à côté des travailleurs, forcés ou volontaires, il a fallu aussi des *scientifiques* afin de concevoir de tels ouvrages et en organiser le chantier jusqu'à leur achèvement, en accord avec le but final. Les personnes ayant la charge des relevés astronomiques permettant la construction de ces observatoires ont dû exercer leur activité à temps complet. Elles ont été les premières scientifiques de l'histoire de l'humanité.



Temple mégalithique de Mnajdra.

Le cairn de Newgrange.

Cette spécialisation s'est peut-être accompagnée d'un effet pervers. Après l'achèvement d'un *observatoire*, toute personne initiée à son utilisation devenait capable de maintenir le calendrier et de faire les prédictions nécessaires à la population. Après la disparition des scientifiques ayant mené à bien la construction de l'*observatoire*, leur savoir a pu se diluer, puis se perdre, sans impacter le fonctionnement de la communauté. Ainsi, la science, par endroits, a fait place à la superstition et l'astrologie est apparue aux côtés de l'astronomie.

L'auroch représenté dans la grotte de Lascaux il y a 20 000 ans symbolise-t-il une constellation? Beaucoup de chercheurs le pensent. Trois mille ans avant notre ère, les Sumériens identifient et nomment les cinq planètes visibles à l'œil nu depuis la Terre, inspirant à leur suite les astronomes de l'Antiquité. Un premier catalogue d'étoiles est dressé au V^e siècle avant Jésus-Christ en Chine, avant que, 2500 ans plus tard, la théorie du Big Bang ne révolutionne profondément nos conceptions.

Depuis la nuit des temps, *Homo sapiens* observe le ciel, à la recherche de réponses sur sa place dans l'Univers, l'origine du monde et la mécanique du temps et de l'espace. Cette quête, qui définit comme nulle autre notre essence, n'avait jusqu'à présent jamais fait l'objet d'un ouvrage dédié.

Dans ce livre richement illustré, Didier Besset retrace l'histoire mondiale des découvertes grâce auxquelles on connaît aujourd'hui un peu mieux l'Univers. Il convie le lecteur à un voyage sans précédent à travers les âges et les civilisations, mêlant histoire des sciences et celles des femmes et des hommes qui y ont contribué. Les anecdotes en lien avec les plus grandes avancées scientifiques abondent, et permettent de parcourir sans effort les théories philosophiques, mathématiques, physiques, chimiques ou astronomiques qui les sous-tendent.

Un ouvrage accessible à toutes et tous sans autre prérequis que la simple curiosité, pour découvrir cette discipline récente qu'est la cosmologie, la science de l'Univers.

**« Un travail remarquable tant par son ampleur,
son érudition que son écriture claire et plaisante. »**

Pr. François Rothen

**« Le grand public, mais également les enseignants
y trouveront une mine d'informations pour
illustrer leurs cours. Le livre peut quasiment
servir d'encyclopédie sur le sujet. »**

Pr. Philippe-André Martin

Diplômé en physique de l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ), **Didier Besset** a effectué son doctorat à l'université de Genève, avant de rejoindre la Californie pour travailler au Stanford Linear Accelerator (SLAC), puis comme professeur assistant à l'université de Princeton. De retour en Europe en 1985, il s'est orienté vers l'intelligence artificielle et la programmation orientée objet. Il a développé de nombreux programmes d'aide à la décision dans des domaines variés.