

Le Beau Livre de  
**L'ASTRONOMIE**

## JIM BELL



Jim Bell est professeur à la *School of Earth and Space Exploration*, de l'université de Temple, dans l'Arizona. Il est aussi professeur associé au département d'astronomie de l'université Cornell d'Ithaca, dans l'État de New York. En tant que président de la *Planetary Society*, il joue un rôle important comme vulgarisateur des sciences en général et de l'exploration spatiale en particulier et a reçu en 2011 la *Carl Sagan Medal* de l'*American Astronomical Society*. Il a participé à des missions d'exploration de la NASA comme NEAR (*Near Earth Asteroid Rendezvous*), *Mars Pathfinder*, à celles mettant en œuvre les véhicules-robots sur Mars *Spirit*, *Opportunity* et *Curiosity*, ainsi qu'à la mission *Lunar Reconnaissance Orbiter*, pour n'en citer que quelques-unes. L'astéroïde 8146 Jimbell a été ainsi nommé en son honneur.

## ARNAUD CASSAN



Maître de conférences à Sorbonne Université et astrophysicien à l'Institut d'Astrophysique de Paris, Arnaud Cassan a révisé, actualisé et augmenté cette nouvelle édition française. Il est par ailleurs l'auteur, aux éditions Dunod, des deux ouvrages : *Galilée à la plage, l'astronomie dans un transat* (2020), et *Hawking à la plage, l'Univers dans un transat* (2022).

Jim Bell

Le Beau Livre de  
**L'ASTRONOMIE**

De l'observation à l'exploration spatiale

Traduit de l'anglais (États-Unis)  
par Julien Bambaggi

Nouvelle édition française actualisée par Arnaud Cassan

**DUNOD**

*À mes nombreux maîtres, pour la patience et la sagesse dont ils ont fait preuve ainsi que pour leur insistance sur le fait que nous devons apprendre des combats de ceux qui nous ont précédés. À mes enfants et à mes nombreux étudiants qui m'ont, de bonne grâce, supporté quand je m'efforçais sans cesse de leur transmettre cette leçon en héritage.*

L'ouvrage original a été initialement publié en anglais (États-Unis) en 2018 par Sterling Publishing Co., Inc., à New York.

Text © 2013, 2018 James F. Bell III

Originally published in 2018 in the U.S. by Sterling Publishing Co., Inc., under the title *The Space Book: Revised and Updated From The Beginning To The End Of Time, 250 Milestones In The History Of Space & Astronomy*. This edition has been published by arrangement with Union Square & Co., LLC, a subsidiary of Sterling Publishing Co., Inc., 33 East 17th Street, 5th floor, New York, NY 10003, USA. All rights reserved.

Direction artistique : Nicolas Wiel

© Dunod, 2013 pour la traduction française, 2022 pour la présente édition  
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)  
ISBN 978-2-100-84479-1

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.

*Il m'a soudain sauté aux yeux que ce joli pois minuscule et bleu  
était la Terre. J'ai fermé un œil et levé le pouce – et la planète  
Terre a disparu. Je ne me suis pas pris pour un géant. Je me suis  
au contraire senti petit, très petit...*

– Neil Armstrong

*Il est difficile de dire ce qui n'est pas possible : les rêves d'hier sont  
les espoirs d'aujourd'hui et la réalité de demain.*

– Robert Goddard



# Table des matières

Introduction 10

Remerciements 16

## NAISSANCE DE L'UNIVERS

Il y a 13,8 milliards d'années Big Bang 18

Il y a 13,8 milliards d'années Ère  
de la recombinaison 20

Il y a 13,5 milliards d'années Premières étoiles 22

Il y a 13 milliards d'années La Voie lactée 24

Il y a 5 milliards d'années Nébuleuse solaire 26

Il y a 4,6 milliards d'années Déchaînement  
dans le Soleil en gestation 28

Il y a 4,6 milliards d'années Naissance  
du Soleil 30

Il y a 4,5 milliards d'années Mercure 32

Il y a 4,5 milliards d'années Vénus 34

Il y a 4,5 milliards d'années La Terre 36

Il y a 4,5 milliards d'années Mars 38

Il y a 4,5 milliards d'années La ceinture  
d'astéroïdes 40

Il y a 4,5 milliards d'années Jupiter 42

Il y a 4,5 milliards d'années Saturne 44

Il y a 4,5 milliards d'années Uranus 46

Il y a 4,5 milliards d'années Neptune 48

Il y a 4,5 milliards d'années Pluton et la ceinture  
de Kuiper 50

Il y a 4,5 milliards d'années Naissance  
de la Lune 52

Il y a 3,8 milliards d'années Apparition de la vie  
sur Terre 54

Il y a 550 millions d'années Explosion  
cambrienne 56

Il y a 65 millions d'années Fin des dinosaures 58

Vers -300 000 *Homo sapiens* 60

Vers -50 000 Meteor crater, Arizona 62

## L'OBSERVATION DES CIEUX

Vers -5 000 Naissance de la cosmologie 64

Vers -3 000 Observatoires antiques 66

Vers -2 500 Astronomie égyptienne 68

Vers -2 100 Astronomie chinoise 70

Vers -500 La Terre est ronde ! 72

Vers -400 Géocentrisme grec 74

Vers -400 Astrologie occidentale 76

Vers -280 Le Soleil au centre du Cosmos 78

Vers -250 Ératosthène mesure la circonférence  
de la Terre 80

Vers -150 Magnitude stellaire 82

Vers -100 Première machine à calculer 84

Vers -45 Calendrier julien 86

Vers 159 *L'Almageste* de Ptolémée 88

185 Observation en Chine d'une « étoile invitée » 90

Vers 500 *Aryabhatiya* 92

Vers 700 La date de Pâques 94

Vers 285 Astronomie islamique ancienne 96

Vers 964 Andromède est repérée 98

Vers 1000 Astrophysique expérimentale 100

Vers 1000 Astronomie maya 102

1054 Observation d'une « étoile » en plein jour 104

Vers 1230 *Sur la sphère du Monde* 106

Vers 1260 Grands observatoires médiévaux 108

Vers 1500 Calculs anciens 110

1543 *Des révolutions des sphères célestes*,  
de Copernic 112

1572 La « nouvelle étoile » de Tycho Brahe 114

1582 Calendrier grégorien 116

1596 Variables Mira 118

1600 *De l'infini, de l'Univers et des mondes*  
de Giordano Bruno 120

Vers 1608 Premières lunettes astronomiques 122  
 1610 *Le messager des étoiles* de Galilée 124  
 1610 Io 126  
 1610 Europe 128  
 1610 Ganymède 130  
 1610 Callisto 132  
 1610 Découverte de la nébuleuse d'Orion 134  
 1619 Les lois de Kepler 136  
 1639 Les transits de Vénus 138  
 1650 Mizar-Alcor, système stellaire sextuple 140  
 1655 Titan 142  
 1659 Les anneaux de Saturne 144  
 1665 La Grande Tache rouge de Jupiter 146  
 1665 Amas globulaires 148  
 1671-1672 Japet et Rhéa 150  
 1676 La vitesse de la lumière 152  
 1682 La comète de Halley 154  
 1684 Téthys et Dioné 156  
 1684 Lumière zodiacale 158  
 1686 Origine des marées 160  
 1687 Les lois de la mécanique de Newton 162  
 1718 Mouvement propre des étoiles 164  
 1757 Navigation astronomique 166  
 1764 Nébuleuses planétaires 168  
 1771 Le catalogue de Messier 170  
 1772 Les points de Lagrange 172  
 1781 Découverte d'Uranus 174  
 1787 Titania et Obéron 176  
 1789 Encélade 178  
 1789 Mimas 180  
 1794 Origine spatiale des météorites 182  
 1795 La comète de Encke 184  
 1801 Cérès 186  
 1807 Vesta 188  
 1814 Naissance de la spectroscopie 190  
 1838 Parallaxe stellaire 192  
 1839 Premières astrophotographies 194  
 1846 Découverte de Neptune 196  
 1846 Triton 198  
 1847 La comète de Miss Mitchell 200  
 1848 Décalage Doppler de la lumière 202  
 1848 Hypérion 204  
 1851 Le pendule de Foucault 206  
 1851 Ariel et Umbriel 208  
 1857 Les lacunes de Kirkwood 210  
 1859 Éruptions solaires 212  
 1859 La recherche de Vulcain 214  
 1862 Naines blanches 216  
 1866 Origine des Léonides 218  
 1868 Hélium 220  
 1877 Déimos 222  
 1877 Phobos 224  
 1887 Feu l'éther 226  
 1893 Couleur et température des étoiles 228  
 1895 Bandes sombres dans la Voie lactée 230  
 1896 Effet de serre 232  
 1896 Radioactivité 234  
 1899 Phœbé 236  
 1900 La mécanique quantique 238  
 1901 Les « calculatrices de Harvard » 240  
 1904 Himalia 242  
 1905 Einstein, *annus mirabilis* 244  
 1906 Les satellites troyens de Jupiter 246  
 1906 *Mars et ses canaux* 248  
 1908 L'événement de la Toungouska 250  
 1908 Céphéides et chandelles standard 252  
 1910 La séquence principale 254  
 1918 La taille de la Voie lactée 256  
 1920 Les Centaures 258  
 1924 Relation masse-luminosité d'Eddington 260  
 1926 Fusées à ergols liquides 262  
 1927 La rotation de la Voie lactée 264

1929 La loi de Hubble-Lemaître 266  
 1930 Découverte de Pluton 268  
 1931 Radioastronomie 270  
 1932 Le nuage d'Öpik-Oort 272  
 1933 Étoiles à neutrons 274  
 1933 Matière noire 276  
 1936 Galaxies elliptiques 278  
 1939 La fusion nucléaire 280  
 1945 Satellites géostationnaires 282  
 1948 Miranda 284  
 1955 Le champ magnétique de Jupiter 286  
 1956 Astronomie des neutrinos 288  
 L'ÈRE SPATIALE  
 1957 *Sputnik* 290  
 1958 Les ceintures de radiation de la Terre 292  
 1959 La face cachée de la Lune 294  
 1959 Galaxies spirales 296  
 1960 SETI 298  
 1961 Premiers hommes dans l'espace 300  
 1963 Le radiotélescope d'Arecibo 302  
 1963 Quasars 304  
 1965 Le fond diffus cosmologique 306  
 1965 Trous noirs 308  
 1965 La « physique de l'extrême » de Hawking 310  
 1966 *Venera 3* atteint Vénus 312  
 1967 Pulsars 314  
 1967 Étude des organismes extrémophiles 316  
 1969 Premiers pas sur la Lune 318  
 1969 L'astronomie devient numérique 320  
 1970 Molécules organiques sur la météorite de Murchison 322  
 1970 *Venera 7* se pose sur Vénus 324  
 1970 Retour d'échantillons lunaires par une mission robotisée 326  
 1971 Premiers orbiteurs autour de Mars 328  
 1971 En voiture sur la Lune ! 330

1972 Montagnes lunaires 332  
 1972 Dernier séjour en date sur la Lune 334  
 1973 Sursauts gamma 336  
 1973 *Pioneer 10* survole Jupiter 338  
 1976 Les sondes *Viking* se posent sur Mars 340  
 1977 Début du périple pour les sondes *Voyager* 342  
 1977 Les anneaux d'Uranus 344  
 1978 Charon 346  
 1979 Activité volcanique sur Io 348  
 1979 Les anneaux de Jupiter 350  
 1979 Un océan sur Europe ? 352  
 1979 Lentilles gravitationnelles 354  
 1979 *Pioneer 11* survole Saturne 356  
 1980-1981 *Voyager 1* et 2 survolent Saturne 358  
 1981 La navette spatiale 360  
 1982 Les anneaux de Neptune 362  
 1984 Disques circumstellaires 364  
 1986 *Voyager 2* survole Uranus 366  
 1987 La supernova 1987A 368  
 1988 Pollution lumineuse 370  
 1989 *Voyager 2* survole Neptune 372  
 1989 Murs de galaxies 374  
 1990 Le télescope spatial Hubble 376  
 1990 *Magellan* cartographie Vénus 378  
 1992 Cartographie du fond diffus cosmologique 380  
 1992 Premières exoplanètes 382  
 1992 Les objets de la ceinture de Kuiper 384  
 1992 Les astéroïdes aussi ont des lunes ! 386  
 1993 Télescopes géants 388  
 1994 La comète SL-9 s'écrase sur Jupiter 390  
 1994 Naines brunes 392  
 1995 Exoplanètes en orbites autour d'autres étoiles 394  
 1995 *Galileo* en orbite autour de Jupiter 396  
 1996 De la vie sur Mars ? 398



1997 La « Grande comète » Hale-Bopp	400	2014 <i>Philae</i> se pose sur la comète Tchouri	464
1997 (253) Mathilde	402	2015 La voile solaire <i>LightSail-1</i>	466
1997 Premier rover sur Mars	404	2015 <i>Dawn</i> survole Cérès	468
1997 <i>Mars Global Surveyor</i>	406	2015 Pluton dévoilée	470
1998 La station spatiale internationale	408	2015 Ondes gravitationnelles	472
1998 L'énergie noire	410	2016 <i>Juno</i> parvient à Jupiter	474
1999 L'échelle de Turin sur les risques d'impact	414	2016 ExoMars Trace Gas Orbiter	476
1999 Le télescope spatial en rayons X Chandra	416	2017 Astronomie multi-messagers	478
1999 Éclipse totale de soleil	412	2017 Les exoplanètes du système TRAPPIST-1	480
2000 Un océan sur Ganymède ?	418	2018 <i>InSight</i> se pose sur Mars	482
2000 NEAR en orbite autour d'Éros	420	2019 L'ombre d'un trou noir	484
2001 Le problème des neutrinos solaires	422	2019 Arrokoth	486
2001 L'âge de l'Univers	424	2021 Le télescope spatial James Webb	488
2001 <i>Genesis</i> capture des parcelles de vent solaire	426	LE FUTUR	
2003 Le télescope spatial Spitzer	428	2023 JUICE en route vers Jupiter et ses lunes	490
2004 <i>Spirit</i> et <i>Opportunity</i> sur Mars	430	2024 <i>Europa Clipper</i>	492
2004-2017 <i>Cassini</i> étudie Saturne et ses anneaux	432	2027 Roman Space Telescope	494
2004 <i>Stardust</i> à la rencontre de Wild 2	434	2027 L'Extremely Large Telescope	496
2005 <i>Deep Impact</i> entre en collision avec Tempel 1	436	2029 Apophis nous rate de peu	498
2005 <i>Huygens</i> se pose sur Titan	438	2033 Retour d'échantillons de roches martiennes	500
2005 <i>Hayabusa</i> atteint Itokawa	440	Vers 2035-2050 Premiers hommes sur Mars ?	502
2006 Pluton rétrogradée	442	Dans 100 millions d'années Collision avec la galaxie naine du Sagittaire	504
2007 Super-Terres habitables ?	444	Dans 1 milliard d'années Évaporation des océans terrestres	506
2009 <i>Kepler</i> traque les exoplanètes	446	Dans 4,5 milliards d'années Collision avec Andromède	508
2010 <i>Rosetta</i> dépasse (21) Lutèce	448	Dans 5 à 7 milliards d'années La fin du Soleil	510
2010 La comète Hartley 2	450	Dans 10 <sup>14</sup> années Les dernières étoiles	512
2011 <i>MESSENGER</i> scrute la surface de Mercure	452	La fin du temps Quelle fin pour l'Univers ?	514
2011 <i>Dawn</i> survole Vesta	454	Notes et indications bibliographiques	516
2011 Le radiotélescope ALMA	456	Index	524
2012 Mars Science Laboratory et son rover <i>Curiosity</i>	458	Crédits photographiques	526
2013 Le météore de Tcheliabinsk	460		
2014 Disques protoplanétaires	462		

# Introduction

Il est impossible de résumer toute l'histoire de l'astronomie et de l'exploration spatiale en seulement 250 dates clés... mais ce n'est pas cela qui va m'arrêter ! Je travaille dans un domaine dont l'histoire est riche et captivante. En tenir la chronique a quelque chose d'intimidant. Mais, pour un passionné de l'espace qui a eu la chance de faire carrière dans son domaine de prédilection, il y n'a que l'embarras du choix. Pour ne parler que des cinquante dernières années, nous avons été témoins de l'un des plus importants et des plus profonds bouleversements : l'avènement de l'Ère spatiale. Des hommes ont quitté la Terre – en ce moment même, certains ne vivent pas dessus ! – et une douzaine d'entre nous ont marché sur la Lune. Par le truchement de robots et de télescopes géants, nous avons pu voir de près les paysages extraterrestres de toutes les planètes connues, visiter les astéroïdes et les comètes, observer le Cosmos dans toute sa gloire...

Tout cela n'a été possible que parce que nous sommes « juchés sur les épaules de géants », comme l'a fort bien remarqué Isaac Newton. Les découvertes de l'astronomie moderne ne peuvent se comprendre sans une étude approfondie des fondements de la science et de l'expérimentation posés par nos ancêtres. Souvent, la réalisation de ces exploits leur en a beaucoup coûté. Souvent aussi, la reconnaissance n'est venue qu'après des décennies, voire des siècles. Quand il a été impossible, ou peu commode, de spécifier les contributions individuelles, j'ai prévu des entrées qui, au moins, reconnaissent l'importance de groupes clés ayant posé les jalons d'exploits futurs. On trouvera : les cartes du ciel conservées dans des cavernes, œuvres des premiers humains ; les contributions des Sumériens à la naissance de la cosmologie il y a 5 000 à 7 000 ans ; les antiques observatoires du ciel, tel Stonehenge, construits par les civilisations, qui restent mystérieuses, de l'âge de pierre ; les annales des événements célestes soigneusement consignées sous les dynasties chinoises Xia, Shang et Zhou (de 2100 à 256 av. notre ère) ; et aussi les diverses écoles de mathématiques et d'astronomie des anciens Égyptiens, Indiens, Arabes, Perses et Mayas qui ont exercé une si grande influence sur l'astronomie, l'astrophysique et la cosmologie modernes.

Il est bien sûr possible d'identifier les individus précis qui ont joué un rôle important dans le développement de la pensée scientifique en général et de la physique ou de l'astronomie en particulier. Aucune chronique détaillée de l'histoire des sciences, sur laquelle s'appuie l'astronomie moderne, ne saurait être complète sans mentionner les contributions impérissables des philosophes, mathématiciens et astronomes de l'Antiquité tels Pythagore, Platon, Aristote, Aristarque, Ératosthène, Hipparque et Ptolémée. Plus proches de nous, Nicolas Copernic, Galileo Galilei, Johannes Kepler, Isaac Newton, Albert Einstein, Edwin Hubble, Stephen Hawking et Carl Sagan sont devenus des icônes de la

science, célèbres pour les avancées extraordinaires qu'ils ont permises en physique, astronomie et sciences de l'espace modernes. Ces géants sont les vedettes de premier plan de nombreuses entrées de ce livre.

Mais il y en a bien d'autres dont les découvertes, ou les progrès accomplis, sont autant de jalons essentiels. Parmi ces scientifiques éminents, on compte Christian Huygens à qui nous devons la découverte de l'« anneau mince et plat » de Saturne ainsi que celle de son grand satellite Titan ; Jean-Dominique Cassini, qui, en plus de la Grande Tache rouge de Jupiter, découvrit Japet, un satellite de Saturne, ainsi que la véritable nature des anneaux de Saturne ; Edmond Halley, dont la comète éponyme revient tous les 76 ans dans le système solaire intérieur ; Tycho Brahe, le dernier des géants de l'astronomie avant l'apparition des lunettes et télescopes, dont les données permirent à Johannes Kepler d'établir les lois régissant le mouvement des planètes ; Charles Messier, grand chasseur de comètes, qui a, le premier, recensé plus d'une centaine des nébuleuses les plus célèbres ; le mathématicien Joseph-Louis Lagrange qui a prédit l'existence de points particuliers de l'espace en équilibre gravitationnel, points qui, depuis, portent son nom ; William Herschel, le découvreur d'Uranus et de plusieurs de ses satellites ; les pionniers de la spectroscopie : Joseph von Fraunhofer, Christian Doppler et Armand Fizeau qui ont posé les fondements de ce qui permet aux astronomes de déterminer à la fois la composition et la vitesse des objets célestes ; ceux qui ont découvert la radioactivité – Pierre et Marie Curie, ainsi que leur collègue Henri Becquerel ; le père involontaire de la mécanique quantique, Max Planck ; Harlow Shapley, un des premiers astronomes à prendre réellement la mesure de l'étendue de la Voie lactée ; le pionnier des fusées à ergols liquides Robert Goddard ; l'astrophysicienne et co-découvreuse de ce filament de galaxies qu'on a nommé le Grand Mur, Margaret Geller ; et Eugène Shoemaker, un des fondateurs de la planétologie, qui nous a permis de comprendre l'importance des cratères d'impacts sur les planètes, à commencer par la nôtre. J'ai donc essayé de dérouler l'histoire de tous ces scientifiques et de quelques autres encore qui ont posé leur pierre à l'édifice de l'astronomie, l'astrophysique, la planétologie et l'exploration spatiale mais qui ne sont pas de ceux qui occupent les sommets de la gloire pour le grand public.

Et puis il y a ceux dont on ne fait pas grand cas, hommes et femmes qui ont fait des découvertes, développé de nouvelles théories, réalisé des expériences qui ont bouleversé nos paradigmes ou, simplement, ont travaillé dur pour dénicher une importante aiguille scientifique dans une botte de foin... Pour une raison ou une autre, ils n'ont pas connu la notoriété ou reçu les distinctions scientifiques que leurs contributions méritaient. Parmi ces génies de l'ombre, le mathématicien et astronome indien du VI<sup>e</sup> siècle Aryabhata ; l'expert de la mesure du temps du VIII<sup>e</sup> siècle Bède le Vénérable de Jarrow ; le cartographe persan du ciel du X<sup>e</sup> siècle Abd Al-Rahman Al Soufi, Azophi en Occident ; l'hérétique Giordano Bruno, brûlé vif sur le bûcher en 1600 et qui avait envisagé l'existence

d'autres mondes habitables ; l'astronome danois du xvii<sup>e</sup> siècle Ole Røemer, le premier à avoir réalisé une mesure précise de la vitesse de la lumière ; l'astronome anglais Jeremiah Horrocks, qui a prédit le transit de Vénus de 1639 ; le physicien allemand Ernst Chladni, qui a conclu, à juste titre, à l'origine extraterrestre des météorites en 1794 ; l'astrophysicien britannique Arthur Eddington, qui a été parmi les premiers à comprendre ce qui se passait à l'intérieur des étoiles ; et l'ingénieur radio américain Karl Jansky qui, en 1931, élaborait un dispositif expérimental qui conduisit à l'invention de la radioastronomie.

Parmi ces héros méconnus, un certain nombre de femmes astronomes ont eu une très grande influence et ont dû souvent batailler bien plus que leurs collègues masculins pour triompher des préjugés répandus dans une discipline dominée par les hommes. Parmi elles, la britannique Caroline Herschel, sœur de William Herschel, chasseuse de comètes aussi bien que cartographe du ciel accomplie de la fin du xviii<sup>e</sup> siècle ; la première femme dans le monde à avoir été professeur d'astronomie, Maria Mitchell ; et, au début du xx<sup>e</sup> siècle, ce groupe de femmes américaines de Harvard, les « calculatrices humaines », parmi lesquelles Annie Jump Cannon et Henrietta Swan Leavitt, qui ont mis au point une classification des étoiles – pour l'essentiel toujours en vigueur de nos jours – et découvert les étoiles qu'on nomme « chandelles standard », utilisées pour évaluer les distances dans l'Univers. Je me suis efforcé de citer dans ce livre de nombreux astronomes, physiciens, philosophes et ingénieurs importants mais souvent méconnus : malgré tout, je crains de ne pas leur avoir rendu toute la place qu'ils méritent. Bien qu'exerçant le métier d'astronome et de planétologue, je dois avouer que je n'avais jamais entendu parler de certains de ces scientifiques éminents avant d'engager les recherches nécessaires à ce livre.

J'ai remarqué que le nombre de personnes distinguées individuellement diminuait avec le temps, en particulier dans les entrées postérieures aux années 1950, le début de la conquête spatiale. Je pense que cela traduit une tendance récente de l'astronomie et de la recherche spatiale – peut-être d'ailleurs de tous les domaines de la science. Science et exploration ont plutôt été, dans le passé, conduites par des individus, en général des hommes fortunés qui travaillaient seuls, souvent sous l'autorité d'un monarque ou d'une sorte de mécène et en compétition acharnée avec d'autres riches hommes de science. Il y a eu, bien entendu, des exceptions : de remarquables collaborations – par exemple entre Tycho Brahe et Johannes Kepler ; ou entre Pierre et Marie Curie et Henri Becquerel. Des groupes de recherche aussi – comme celui constitué au xiii<sup>e</sup> siècle par Nasir ad-Din at-Tusi dans son observatoire de Maragha, dans l'actuel Iran, ou encore l'école mathématique du Kerala, en Inde, dès le xiv<sup>e</sup> siècle. Mais, globalement, dans mon domaine, les avancées scientifiques furent essentiellement le fait d'individus.

Parallèlement aux développements de la technologie dans la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle, les avancées en physique, en astronomie et dans l'exploration spatiale sont de plus en plus venues de ce qu'on nomme souvent la *Big Science*, en quelque sorte

l'entrée de la science dans l'ère industrielle, avec de gros moyens à la clé. Elle est menée collectivement par un groupe, une équipe ; les individus apportent leur expertise sur des points précis du projet mais ce dernier embrasse une variété de domaines tellement vaste qu'aucun membre de l'équipe ne peut être expert en tous. Un des premiers exemples significatifs en physique a été, dans les années 1940, le projet Manhattan de l'armée américaine destiné à mettre au point la première bombe atomique. Ce projet nécessitait des savoir-faire dans les domaines du génie, des matériaux, de l'aéronautique, mais l'armée avait aussi besoin de dénicher des scientifiques qui soient les plus grands spécialistes du monde dans la connaissance des réactions nucléaires à des températures et des pressions extrêmement élevées. Bien entendu, parmi ces derniers, il y eut de nombreux astronomes qui avaient, quelques années plus tôt seulement, développé de telles compétences en explicitant la façon dont luisent les étoiles. Parmi les premières études relevant de la *Big Science* et qui ont reposé sur des équipes d'astrophysique ou de recherche spatiale, il y a le développement pour l'armée des systèmes de radars et les fusées, par exemple les missiles balistiques intercontinentaux en vols suborbitaux, ainsi que les satellites en orbite autour de la Terre à des fins militaires et civiles.

L'histoire de l'astronomie civile de l'ère de la *Big Science* a été dominée par les réalisations de la *National Aeronautics and Space Administration* américaine, la NASA, créée en 1957. Ce livre regorge de réalisations conduites sous son égide et qui jalonnent la recherche et l'exploration spatiales, qu'elles soient le fait d'humains ou de robots ; très peu d'entre elles peuvent être directement attribuées à des individus. Mon expérience personnelle de la robotique mise en œuvre par la NASA et des missions planétaires – qu'il s'agisse de l'utilisation du télescope spatial Hubble, du travail sur les instruments placés en orbite autour de la Lune, de Mars, des astéroïdes ou bien de la manipulation, au cours des missions sur Mars, des véhicules-robots, les rovers *Spirit*, *Opportunity* et *Curiosity* – m'a conforté dans l'idée que les travaux de pointe de l'astronomie et de la recherche spatiale modernes doivent impliquer des équipes nombreuses pour être couronnés de succès. Les niveaux d'expertises requis sont impressionnants. Une mission d'exploration par des véhicules-robots sur Mars, par exemple, a besoin de planétologues – physiciens, chimistes, mathématiciens, géologues, astronomes, météorologues et même biologistes –, de théoriciens de l'informatique aussi bien que de programmeurs, d'une grande variété d'ingénieurs (spécialisés dans les logiciels, les matériaux, la propulsion, l'énergie, la thermodynamique, les problèmes de communication, l'électronique, les systèmes, etc.), mais aussi de l'apport d'une équipe de spécialistes du management, de la finance et des questions administratives. Il faut des niveaux semblables de compétence pour construire, lancer ou utiliser des télescopes spatiaux, des navettes spatiales, des détecteurs ou des collisionneurs de particules lourdes, ou encore la Station spatiale internationale – d'après certaines estimations, le projet le plus complexe et le plus coûteux jamais entrepris par des humains. Qui plus est, chacun de ces projets de l'ère de la *Big Science* peut avoir un

coût final de centaines de millions ou de dizaines de milliards d'euros, voire davantage. Aucun individu n'est mis en avant quand pareils projets aboutissent ou échouent : ce travail a nécessité les efforts de toute une équipe. Les succès de l'Union soviétique dans les projets d'exploration spatiale des années 1960 et 1970 ont été le résultat de collaboration du même type, même si l'armée y était davantage présente. Récemment, les dix-neuf pays qui composent l'Agence spatiale européenne ainsi que le Canada, le Japon, le Brésil, la Corée du Sud, l'Inde et la Chine sont devenus des acteurs plus importants des programmes internationaux astronomiques en plus de leurs propres projets, plus modestes.

Identifier les événements clés de l'histoire de l'astronomie et de l'exploration spatiale a représenté un défi aussi difficile que celui d'isoler des individus. Certains, comme la formation de la Terre et des planètes, les premiers vols de l'homme dans l'espace, les premiers pas de l'homme sur la Lune vont de soi. Mais, dans la plupart des cas, leur importance varie de façon continue d'une personne à l'autre – pis encore : avec le temps et en peu de temps ! Dater avec précision certaines situations pour les placer dans une chronologie est, là encore, délicat : soit parce que notre connaissance d'événements qui se sont produits il y a très longtemps ne s'appuie que sur des hypothèses, aussi fondées soient-elles – comme pour l'apparition de la vie sur Terre – ; soit parce que nous présumons que c'est sur une très longue période de temps qu'ils ont eu lieu – c'est le cas, par exemple, de la formation des premières étoiles et des premières galaxies – ; soit encore parce que notre prédiction porte sur un avenir indéterminé – comme pour la fin de l'Univers ! Quand la datation est incertaine ou couvre une période très vaste, ou les deux, j'ai placé devant la date la mention « Il y a », « Dans » ou « Vers ».

La succession des événements historiques, particulièrement ceux de l'époque moderne, est mieux connue. Mais la difficulté demeure de choisir *lesquelles* conserver, dans un tel résumé, parmi les découvertes scientifiques, théories, inventions, missions liées à l'astronomie ou la conquête spatiale au cours des derniers siècles et, particulièrement, au cours des cinquante dernières années : leur nombre paraît infini ! Dans ces conditions, il est sans doute inévitable qu'un parti pris se glisse dans toute tentative de ne prendre en compte qu'une partie de ces réalisations. Je dois avouer que le système solaire est mon péché mignon et que cela a forcément guidé mes choix. Ce qui me passionne dans mon travail est l'étude des planètes, de leurs lunes, des astéroïdes et des comètes – qui ne sont en réalité, pour de nombreux astronomes, que des petits morceaux de débris résiduels ayant échappé à l'appétit vorace du tout jeune Soleil il y a 4,5 ou 5 milliards d'années. Il est vrai que le Soleil représente 99,86 % de la masse du système solaire – Jupiter représentant, pour l'essentiel, ce qui reste –, mais il est tout aussi vrai que ces 0,14 % restants sont extrêmement intéressants, en partie parce que la vie s'est développée et a prospéré sur au moins un de ces débris et a pu exister – existe peut-être encore ! – sur d'autres. Quand mes amis astrophysiciens ou cosmologues se désolent de me voir concentrer mes recherches sur des objets aussi insignifiants et proches, il n'est pas

difficile de leur répondre que les dernières découvertes dans la recherche des exoplanètes montrent que les systèmes solaires autour d'autres étoiles sont probablement quelque chose de banal. Notre système solaire est peut-être l'un des millions – plus probablement milliards – de systèmes similaires dans notre galaxie. Et encore ne savons-nous pas si l'un d'entre eux n'abrite pas la vie comme le nôtre. Cela fait de nous quelque chose de très spécial, même si nous sommes très petits.

En cheminant d'une étape à l'autre de cette histoire de l'astronomie et de la conquête spatiale, vous détecterez sans doute mon parti pris pour les découvertes, les théories, les aventures qui sont en rapport avec nos plus proches voisins de l'espace : ceux qui constituent notre système solaire. Même s'il est tendancieux, c'est, selon moi, un bon choix, d'abord parce que les objets de notre système solaire sont ceux que nous connaissons le mieux scientifiquement. Mais connaître ses voisins est important aussi si l'on veut comprendre et apprécier l'environnement plus lointain. Je veux dire par là que la physique et la chimie, la mécanique céleste et la géologie, la spectroscopie et toutes les spécialités des ingénieurs, toutes ces compétences nécessaires pour explorer *notre* système solaire à l'aide de nos télescopes, vaisseaux robotisés, simulations à l'aide d'ordinateurs ultra-rapides, expérimentations pointues de laboratoire aussi bien qu'équipages pour une exploration humaine, tout cela donc nous fournit les bases de l'exploration des étoiles les plus proches de la Voie lactée, des galaxies les plus proches et du Cosmos, aujourd'hui ou demain. Ce sont ces moments cruciaux qui sont dignes d'être considérés comme des jalons de la conquête de l'espace : quand un monde véritablement unique se révèle derrière un simple point lumineux – et il y en a plus de cinquante relativement grands et des millions de plus petits dans notre voisinage – ou quand nous visitons ces mondes pour la première fois, que la visite soit virtuelle, à travers les yeux des robots, ou que nous la fassions en personne. D'une certaine façon, notre système solaire, c'est notre cour de récréation ! En apprenant à connaître les mondes qui nous entourent, nous prenons la température des « rivages de l'océan cosmique », selon l'expression célèbre de Carl Sagan, nous préparant ainsi pour le jour où nous nous aventurerons plus loin dans l'eau.

Enfin, il est important de signaler que cet ensemble de jalons dans l'histoire de l'astronomie et de la conquête spatiale n'est certainement pas exhaustif. Pour des raisons pragmatiques de longueur et de taille du livre, il n'y a que 250 entrées ; elles ne représentent qu'une partie des personnages, des découvertes historiques, des événements ayant bouleversé les paradigmes qui ont marqué ce passionnant domaine au fil du temps – en fait sur l'ensemble de l'histoire de l'espace et du temps. Des auteurs différents auraient certainement fait d'autres choix mais tous auraient eu à faire face au même dilemme : comment faire la sélection ? En commençant ce projet, j'ai décidé d'essayer non seulement de parler des réalisations de l'Ère spatiale mais aussi de faire figurer, pour leur rendre honneur, un échantillon des nombreuses œuvres fondamentales que nous devons aux scientifiques de l'Antiquité, ce qui embrasse les anciens empires de Mésopotamie,

de Chine, d'Inde, d'Égypte, d'Europe et d'Amérique. J'ai voulu de même m'assurer que figurent quelques-unes des réalisations les plus importantes du Moyen Âge, de la Renaissance et, pour l'histoire plus récente, de l'époque pré-industrielle jusqu'à la Révolution industrielle. En voulant équilibrer la chronologie, j'ai certainement négligé des personnages estimables, certaines découvertes ou événements plus récents, toutes choses pour lesquelles je tiens à m'excuser ici. Comme je l'ai déjà écrit, il est impossible de résumer toute l'histoire de l'astronomie et de la conquête spatiale en ne sélectionnant que 250 jalons. Mais ce n'est pas cela qui va nous arrêter !

---

## Remerciements

Il me faut témoigner ici de ma gratitude envers mes nombreux collègues et maîtres qui, sciemment ou non, ont allumé en moi la passion pour l'histoire de l'astronomie, de la planétologie et de l'exploration spatiale. Parmi ceux qui m'ont le plus influencé, je veux citer feu Carl Sagan, Jim Pollack et Leonard Martin, tous scientifiques de premier plan. Je suis très redevable à mes nombreux amis, collègues, nouvelles relations et donateurs anonymes qui ont généreusement accepté de fournir leurs belles photos ou peintures pour cette édition. Un grand merci va aux fondateurs, éditeurs et contributeurs qui, à travers le monde, ont fait de Wikipédia – entreprise à laquelle je contribue financièrement – un extraordinaire outil de recherches et un tremplin pour les étendre, qu'il s'agisse de sujets historiques ou actuels. Je remercie Michael Bourret, de Dystel & Goderich et Melanie Madden de Sterling pour leur soutien constant dans un projet qui paraissait ne jamais devoir finir. Je remercie aussi mes collègues astronomes Rachel Bean et Margaret Geller pour leur relecture d'entrées portant sur des sujets relativement éloignés de mes propres compétences. Enfin, je ne saurais trop remercier mon épouse, Maureen, qui a réalisé d'énormes recherches iconographiques et qui a témoigné d'une patience sans limite durant la longue gestation de ce livre.

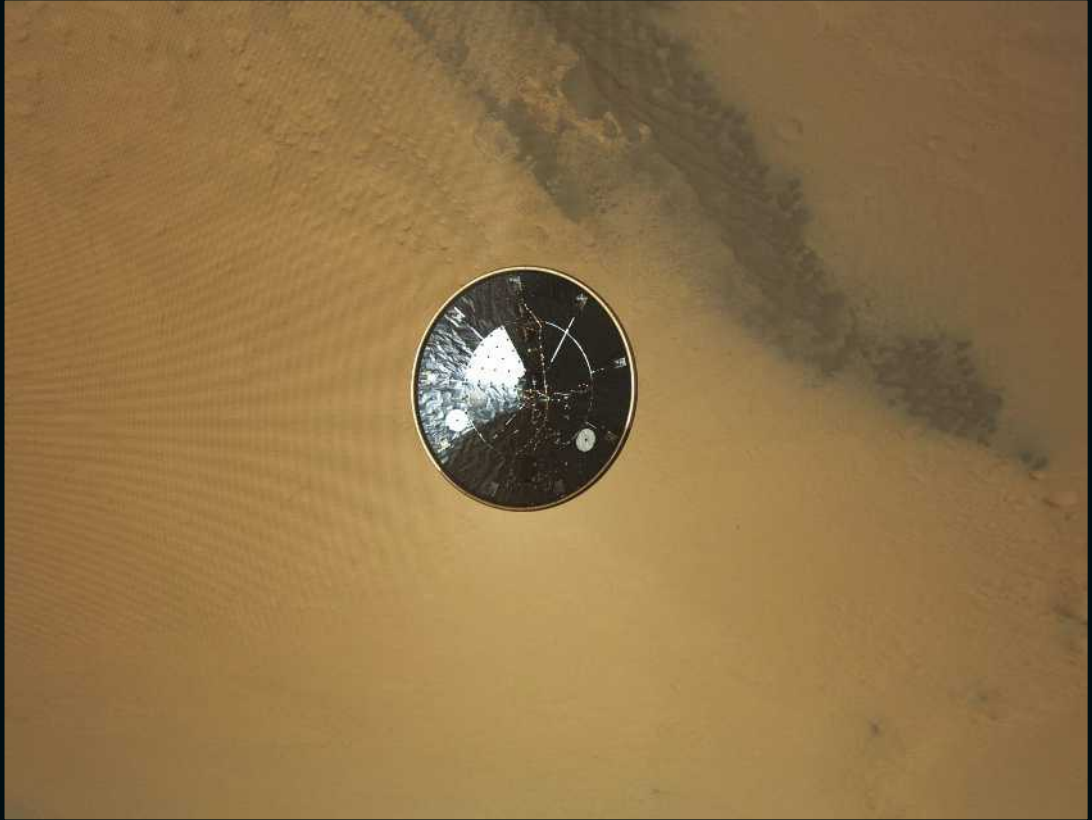
---

## À propos de cette nouvelle édition

Cette seconde édition française, basée sur les mises à jour de Jim Bell pour l'édition américaine de 2018, est enrichie de nouveaux textes et d'une iconographie actualisée. Les vingt-deux nouvelles entrées et les corrections apportées mettent en lumière les extraordinaires avancées de ces dernières années en Astronomie.

*Cette photographie de la face interne du bouclier thermique du rover de la NASA Curiosity a été prise pendant sa descente sur Mars le 6 août 2012. L'appareil photographique Mars Descent Imager, en abrégé MARDI, a pris la photo quand ce bouclier de 4,5 mètres se trouvait à une quinzaine de mètres du vaisseau spatial.*





# Big Bang

Quel meilleur instant pour se lancer dans l'exploration de la grande aventure de l'histoire de l'astronomie que le début – entendez le *tout début* à la fois de l'espace et du temps. Les astronomes du xx<sup>e</sup> siècle, tel Edwin Hubble, ont découvert que l'Univers était en expansion en observant que, de quelque côté qu'on se tourne, les structures à grande échelle comme les galaxies s'éloignaient les unes des autres. Cela signifie que, dans le passé, l'univers observable était plus dense et que, d'une certaine façon, tout a commencé à partir d'un état initial très dense et très chaud : une singularité. Des années d'observations minutieuses à l'aide d'instruments comme le télescope spatial Hubble ont révélé que l'Univers était né à partir d'une violente expansion de cette singularité il y a environ 13,8 milliards d'années.

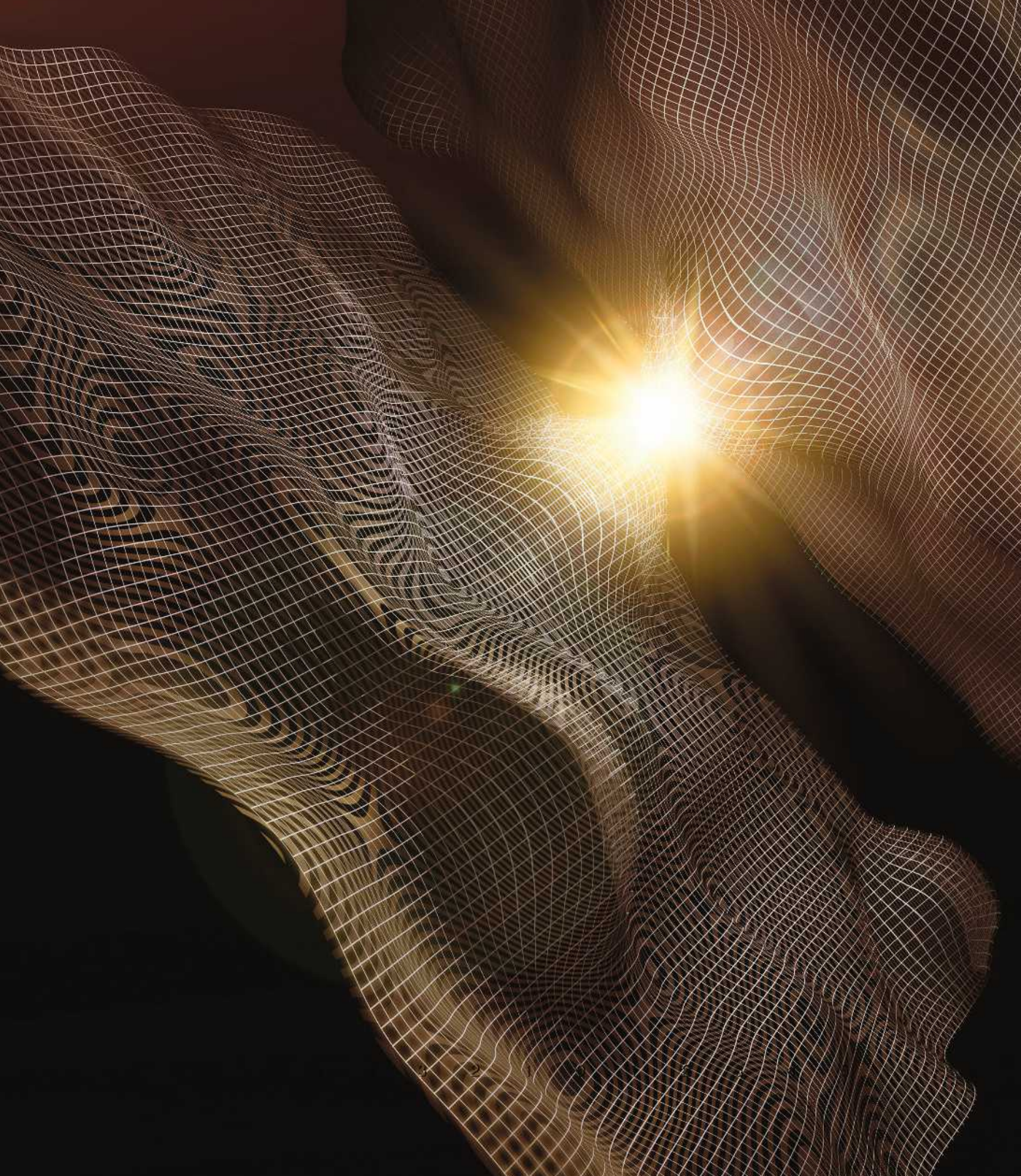
La théorie du Big Bang – surnom se voulant ironique donné à la fin des années 1940 – a été vérifiée rigoureusement dans les moindres détails, grâce à des décennies d'observations astronomiques, d'expériences de laboratoire et de modélisation mathématique, par des cosmologues et des astronomes qui ont précisément fait de l'origine et de l'évolution de l'univers l'objet de leurs recherches. Ces études nous ont fourni une masse impressionnante d'informations sur le tout début de l'histoire de notre univers : pendant les premiers instants de son évolution, sa température est tombée d'un million de milliards de degrés à « seulement » dix milliards et *la totalité* des protons (c'est-à-dire des noyaux d'hydrogène) ainsi que des neutrons existant aujourd'hui sont nés dans ce plasma primordial. Alors que l'Univers n'était vieux que de trois minutes, l'hélium et une pincée de lithium se sont formés à partir de l'hydrogène par le même processus que celui se produisant encore de nos jours au cœur des étoiles : la fusion nucléaire.

Qu'espace et temps aient été *créés* tout à la fois en un unique événement, il y a 13,8 milliards d'années a quelque chose de stupéfiant. Qu'est-ce qui a provoqué l'expansion ? Qu'y avait-il là avant le Big Bang ? Les cosmologues nous expliquent que la question n'a pas vraiment de sens dans la mesure où le temps lui-même a été créé dans le Big Bang. L'humilité s'impose quand on songe que l'élément le plus abondant à partir duquel chacun de nos corps s'est construit – l'hydrogène – est apparu à la toute première seconde qui jamais fut. Nous sommes très vieux !

**VOIR AUSSI** La loi de Hubble-Lemaître (1929), Fusion nucléaire (1939), Télescope spatial Hubble (1990).

*Représenter en image le début de l'Univers est aussi difficile que tenter de comprendre comment tout s'est produit. Ici, l'imagination d'un artiste a tenté de saisir cette idée que le Big Bang a été déclenché par une collision avec un autre univers tridimensionnel, lequel s'est alors retrouvé dissimulé dans des dimensions d'ordre supérieur.*







## Ère de la recombinaison

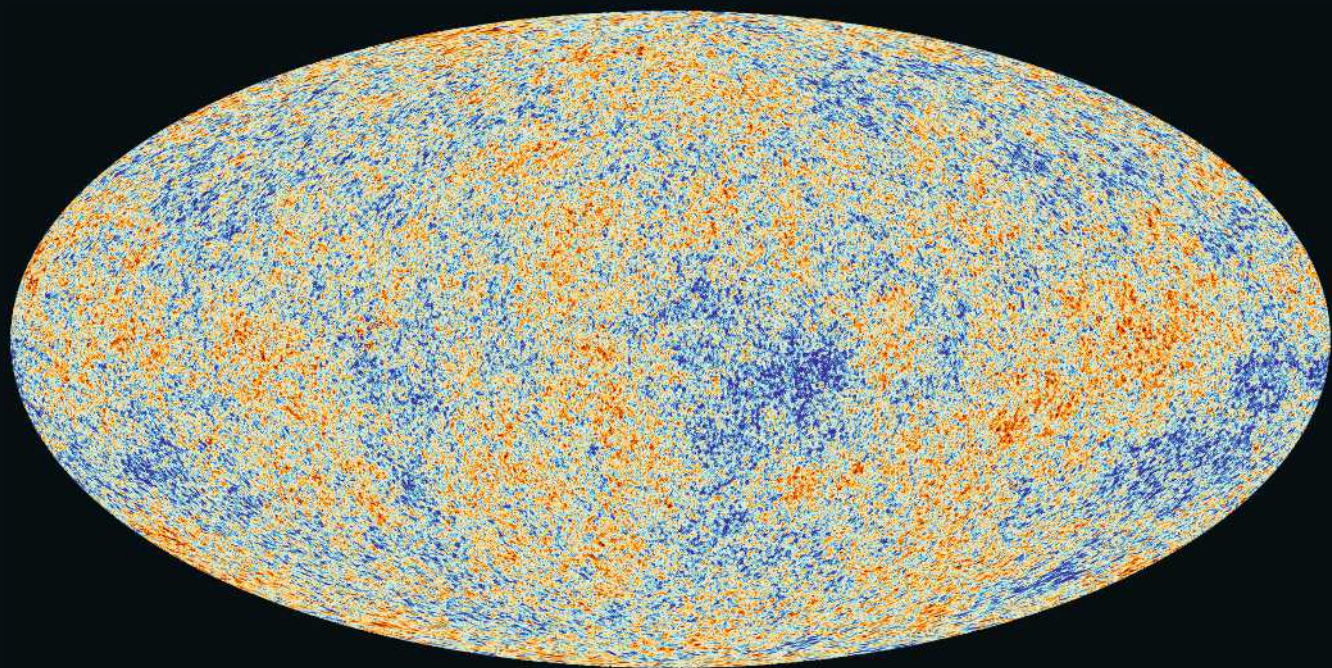
Pendant les toutes premières années de l'univers, température et pression étaient extrêmement élevées et le rayonnement intense. Tout l'espace était illuminé de l'éclat primordial des atomes fortement ionisés et des particules subatomiques interagissant, s'entrechoquant, se désintégrant et se recombinant à des températures de plusieurs millions de degrés. On nomme souvent cette période de l'histoire cosmique « ère du rayonnement ». Alors que l'Univers était vieux d'environ 10 000 ans, l'expansion de l'espace et la désintégration de nombreuses particules énergétiques ont abaissé la température du Cosmos à « seulement » 12 000 kelvins (les kelvins, dont le symbole est K, mesurent la température au-dessus du zéro absolu). Il s'agit là d'un seuil important parce que, tandis que l'Univers continuait de refroidir, la somme de l'énergie provenant de la chaleur et des rayonnements ionisés est devenue inférieure au total de ce qu'on nomme l'énergie au repos de la matière elle-même, celle qui est intégrée dans la célèbre équation du physicien Albert Einstein,  $E = mc^2$ . À partir de là, sans changements pendant des centaines de milliers d'années, l'Univers a été, pour l'essentiel, une soupe opaque, dense et bourrée d'énergie constituée de noyaux atomiques et d'électrons. Alors que son expansion et son refroidissement se poursuivaient, l'énergie de rayonnement continuait de décroître par rapport à l'énergie au repos.

Environ 380 000 ans après le Big Bang, la température était tombée à seulement quelques milliers de kelvins, une température suffisamment basse pour permettre la capture des électrons (déionisation) et former des atomes stables d'hydrogène ainsi que, dans le cas de plusieurs noyaux d'hydrogène, les premières molécules de l'univers : l'hydrogène  $H_2$ . Cette période de l'univers primitif est appelée « ère de la recombinaison ».

La bonne nouvelle est que cela a permis au rayonnement résiduel – pour l'essentiel des photons – de se découpler de la matière et de pouvoir ainsi voyager relativement librement dans l'espace. L'Univers est devenu plus froid et plus sombre pendant les quelques centaines de millions d'années suivantes : les cosmologues parlent des « âges sombres ». On peut encore aujourd'hui détecter la lueur résiduelle d'environ 3 kelvins de l'énergie du rayonnement libéré par l'univers primitif : c'est le fond diffus cosmologique.

**VOIR AUSSI** Big Bang (il y a 13,8 milliards d'années), Einstein, *annus mirabilis* (1905), Le fond diffus cosmologique (1965), Âge de l'univers (2001).

*Le satellite Planck a réalisé cette carte céleste de la chaleur résiduelle laissée par l'expansion initiale de l'univers primitif. Les petites fluctuations de température que l'on voit – quelques cent-millionièmes de degré seulement – ont été à l'origine des premières étoiles et galaxies de l'Univers.*



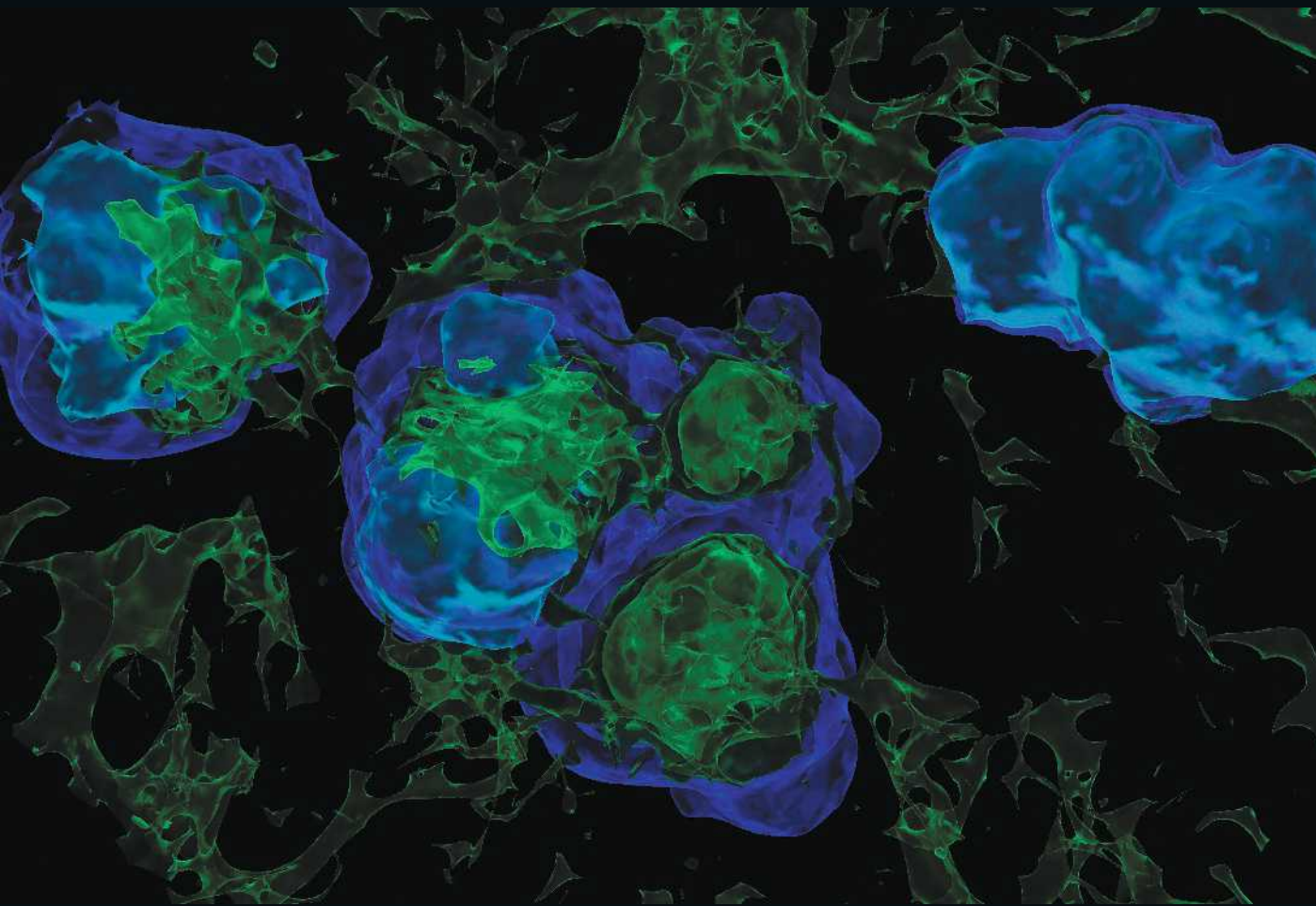
## Premières étoiles

Aux ères sombres succèdent les renaissances et le début de l'histoire de l'Univers n'échappe pas à la règle. Les cosmologues pensent que la période qu'on appelle les âges sombres a duré de 100 à 200 millions d'années, après quoi des molécules d'hydrogène formées pendant l'ère de la recombinaison, ont commencé à se grouper sous l'effet de la gravitation. Peut-être était-ce l'effet de la turbulence mais, en vérité, personne ne sait trop pourquoi. Les concentrations de gaz ont joué le rôle de germes, attirant par gravitation davantage de gaz ; les amas sont devenus de plus en plus gros, jusqu'à finir en énormes nuages d'hydrogène dont l'intérieur a commencé à se réchauffer du fait de la pression croissante exercée par le gaz situé tout autour. Qu'un nuage reçoive une chiquenaude – par exemple l'impulsion gravitationnelle venant d'un nuage voisin –, et il se mettra en mouvement pour finir par tourner sur lui-même. Puis, peut-être 300 ou 400 millions d'années après le Big Bang, la température au centre de certains de ces énormes nuages en rotation lente est montée jusqu'à plusieurs millions de degrés, tout comme pendant les trois premières minutes qui ont suivi le Big Bang. Température et pression ont atteint, au cœur de ces nuages sphériques, un niveau suffisant pour réaliser la fusion de l'hydrogène et donner de l'hélium : les premières étoiles étaient nées, marquant la fin des âges sombres.

Ces premières étoiles, parfois appelées population III d'étoiles par les astronomes, étaient autre chose qu'une simple bizarrerie locale. Elles étaient énormes – peut-être cent à mille fois plus massives que notre Soleil – et influençaient considérablement leur voisinage, rayonnant des quantités prodigieuses d'énergie au sein des amas et nuages d'hydrogène qui les entouraient, les réchauffant à l'extérieur et libérant les électrons capturés aux débuts des âges sombres. On désigne cette époque sous le nom d'ère de la réionisation parce que, une nouvelle fois, l'Univers s'est mis à luire, non pas sous l'effet de la lumière et de la chaleur de la création mais, comme de nos jours, grâce à la lumière et à la chaleur des étoiles.

**VOIR AUSSI** Big Bang (il y a 13,8 milliards d'années), Ère de la recombinaison (il y a 13,8 milliards d'années), Relation masse-luminosité d'Eddington (1924), Fusion nucléaire (1939).

*Dans cette simulation réalisée par un superordinateur, les bulles d'hydrogène ionisé (en bleu) et les nuages d'hydrogène moléculaire (en vert) forment la première structure organisée à grande échelle de l'univers primitif ; elle finit par s'effondrer pour donner naissance aux premières étoiles.*





# La Voie lactée

Pour les astronomes, une galaxie est un système lié d'étoiles, de gaz, de poussières et de quelques autres composants mystérieux (voir matière noire), en mouvement coordonné dans le Cosmos comme s'il s'agissait d'un seul objet. Une fois les premières étoiles apparues, il n'a pas fallu bien longtemps pour que, inexorablement, nombre d'entre elles s'attirent les unes les autres par gravité et finissent par former des amas stellaires, puis des amas d'amas et parvenir à d'énormes rassemblements d'étoiles en orbite autour du centre de gravité de l'ensemble.

Le nombre d'étoiles qui composent notre galaxie, la Voie lactée, est estimé à 400 milliards ; sa structure est caractéristique de la classe de galaxies qu'on nomme spirales barrées présentes partout dans l'Univers. La Voie lactée possède un énorme renflement central semi-sphérique surpeuplé ; ce dernier est entouré par un disque en spirales plus effilé fait d'étoiles (notre Soleil en fait partie), de gaz et de poussières ; l'ensemble est entouré d'un halo diffus sphérique d'étoiles plus anciennes, d'amas globulaires et de deux galaxies satellites plus petites. Il s'agit d'une énorme structure d'environ 100 000 années-lumière de diamètre (soit environ un milliard de milliards de kilomètres, une année-lumière étant la distance parcourue en un an par la lumière) et dont le disque a 1 000 années-lumière d'épaisseur. Notre Soleil se trouve approximativement à mi-chemin entre le centre galactique et les limites extérieures. À la position du Soleil, une année galactique (une rotation de la galaxie sur elle-même) dure 250 millions de nos années terrestres.

Les astronomes ne savent pas exactement quand la Voie lactée s'est formée. Les étoiles les plus anciennes que nous connaissons dans notre galaxie se trouvent dans le halo : certaines semblent presque aussi vieilles que l'Univers lui-même (13,8 milliards d'années). Les étoiles les plus anciennes du disque sont plus jeunes : de l'ordre de 8 à 9 milliards d'années. Il est probable que les différentes parties de la Voie lactée se sont formées à différentes époques même si sa structure fondamentale semble avoir été fonctionnelle très tôt.

Nos ancêtres de l'Antiquité étaient impressionnés par la bande brillante blanchâtre qui dominait leur ciel nocturne ; ils la plaçaient parmi les mythes de la création comme une rivière de lumière et de vie. Bien que nous sachions aujourd'hui que nous faisons partie du ballet donné par un grand ensemble d'étoiles, à regarder au dehors, on peut volontiers se laisser fasciner par les dimensions et la majesté de notre galaxie hôte.

**VOIR AUSSI** Matière noire (1933), Galaxies spirales (1959).

*Photographie en grand-angle de la Voie lactée. C'est le rayonnement de milliards d'étoiles qui est cause de la lueur diffuse et brillante de notre galaxie, les zones sombres étant dues à de la poussière qui absorbe une partie de cette lumière stellaire.*





## Nébuleuse solaire

La formation d'une étoile est un processus chaotique. Quand un énorme nuage moléculaire s'effondre, quasiment tout le gaz et la poussière qu'il contient se concentrent au centre de la protoétoile. Il n'en subsiste qu'une minuscule fraction en orbite autour de l'étoile en formation et, tandis que l'ensemble du système tourne autour de lui-même et refroidit, tout ce nuage résiduel de débris s'aplatit doucement pour former un disque de gaz, de poussières et, plus loin de l'étoile, de glaces.

Le nuage qui a donné naissance à notre Soleil, la nébuleuse solaire, a vraisemblablement commencé à s'effondrer il y a environ cinq milliards d'années. Des observations montrent qu'il faut 100 millions d'années pour que se forment les étoiles semblables au Soleil, un million seulement pour le disque qui entoure les jeunes étoiles. Une fois le disque formé, il se transforme rapidement sous l'action des collisions de ces microscopiques morceaux de poussières et de glaces. Ceux-ci s'agglomèrent ensuite selon des processus complexes, faisant intervenir des interactions avec le gaz du disque et des phénomènes de turbulence qui peuvent concentrer les particules dans des zones plus calmes, et faciliter ainsi leur coagulation. Cette première phase aboutit à la formation de planétésimaux, les « briques élémentaires » de la formation planétaire, qui sont des blocs de quelques kilomètres de diamètres qui peuvent s'entrechoquer, et parfois fusionner pour former des corps plus gros, jusqu'aux protoplanètes de plusieurs centaines ou milliers de kilomètres de diamètre.

Les disques ne peuvent pas se maintenir longtemps. La majeure partie de la poussière est capturée ou dispersée en quelques millions d'années, et jamais plus que dix millions d'années. Près de l'étoile, il fait trop chaud pour que la glace se condense et les planétésimaux sont, pour l'essentiel, rocheux et trop petits pour retenir beaucoup de gaz. Plus loin vers l'extérieur, glaces et poussières peuvent s'agréger pour former de plus grands planétésimaux dont la masse est suffisante pour retenir d'énormes quantités de gaz et finir ainsi par grossir jusqu'à devenir des « géantes gazeuses ».



**VOIR AUSSI** Premières étoiles (il y a 13,5 milliards d'années), Déchaînement dans les protoétoiles (il y a 4,6 milliards d'années), Découverte de la nébuleuse d'Orion (1610), Disques circumstellaires (1984), Premières exoplanètes (1992), Disques protoplanétaires (2014).

À GAUCHE : photographie prise par Hubble d'une nébuleuse protoplanétaire, en ombre chinoise sur fond clair.  
 À DROITE : jeunes étoiles dans la Nébuleuse de la Carène, visibles sur cette photographie prise par le télescope spatial James Webb en 2022.





# Déchaînement dans le Soleil en gestation

Tout comme celle d'un enfant, la naissance d'une étoile peut être un événement passablement chaotique et violent, mettant en jeu une débauche d'énergie. Avant même d'être devenues suffisamment denses et chaudes pour que s'amorce la réaction de fusion nucléaire transformant l'hydrogène en hélium, les protoétoiles à peine formées peuvent émettre des quantités énormes d'énergie pendant l'effondrement gravitationnel de leur gestation de 100 millions d'années. Certains de ces bébés étoiles canalisent leur énergie dans des jets de la taille du système solaire, jets de gaz, de poussières et de particules chargées peut-être rendus parallèles et chauffés par les puissants champs magnétiques provenant de l'étoile ou des matériaux qui y tombent en provenance du disque nébulaire, ou des deux.

Les astronomes ont identifié de nombreux cas de violents jets de matière émis par de très jeunes protoétoiles, souvent dites de type T Tauri, d'après le nom de leur prototype. En fait, on pense que l'étoile T Tauri ressemble beaucoup à l'image que les astronomes se font de notre Soleil jeune : il serait ainsi passé par un épisode similaire, aussi bref que violent, avant de s'installer dans la fusion de l'hydrogène et la longue et relativement calme vie des étoiles de ce qu'on nomme la séquence principale.

La preuve que notre Soleil a bien subi cette éventuelle phase de type T Tauri accompagnée de violente émission de matière réside peut-être dans les météorites de type chondrites ordinaires. Ces rocs, qui tombent à l'occasion sur Terre, sont les plus anciens corps solides connus du système solaire. Ils contiennent souvent de grandes proportions de chondres – petites billes de cristaux minéraux qui, un jour, ont été des gouttelettes de roche en fusion avant de se refroidir et s'agréger en cristaux plus gros, en planétésimaux ou en astéroïdes. L'origine de l'énergie ayant permis la fusion des chondres au sein du système solaire primitif est inconnue mais elle peut venir des sursauts d'activité et des émissions du jeune Soleil.

Plus les astronomes scrutent l'espace en profondeur et avec davantage de précision, plus il se confirme que les étoiles nouvellement formées sont ceinturées d'un disque et génèrent des émissions, ce qui suggère que ces événements sont un moment clé de la formation des étoiles. Une naissance violente est peut-être une part normale, essentielle, du cycle de vie d'une étoile ordinaire.

**VOIR AUSSI** Origine spatiale des météorites (1794), La séquence principale (1910), La fusion nucléaire (1939).

*Une jeune protoétoile de type T Tauri se trouve à l'intérieur d'un nuage de poussière en bas à gauche de cette photographie prise par le télescope spatial Hubble. Nommée HH-47, elle éjecte dans l'espace un flot torsadé de gaz ionisé et de poussières de 1 500 milliards de kilomètres (d'en bas à gauche à en haut à droite).*





# Naissance du Soleil

Pendant des millions d'années, les forces de gravitation ont comprimé la nébuleuse solaire. Dans sa partie centrale, température et pression ont augmenté de façon prodigieuse jusqu'au point où s'enclenche la fusion nucléaire des noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium. Cette fusion libère une certaine quantité d'énergie sous forme de lumière et de chaleur. Une étoile est née... en l'occurrence notre Soleil.

Nous avons tendance à donner au Soleil une place à part, à juste titre d'ailleurs, le Soleil ayant un rôle clé dans l'apparition et le maintien de toutes les formes de vie sur notre planète. Il nous est plus difficile de le penser comme un objet standard, ordinaire voire banal. Par bien des aspects, c'est pourtant ce qu'il est ! Notre étoile n'est qu'une des dix mille milliards de milliards (un 1 suivi de 22 zéros !), ou davantage, étoiles de l'univers connu. Toutes résultent de l'effondrement de matière – essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium – portée à haute température et sous haute pression. Toutes libèrent des quantités colossales d'énergie dans l'espace qui les entoure. Les étoiles sont vraiment les moteurs de notre univers.

Après leur naissance, les étoiles connaissent une vie relativement stable et terminent leur évolution d'une façon somme toute prévisible bien que parfois spectaculaire. Le Soleil ne fait pas exception. Il continuera à réaliser la fusion de noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium pendant cinq autres milliards d'années environ. Quand le cœur du Soleil manquera d'hydrogène, le Soleil grossira et deviendra une géante rouge, absorbant les planètes les plus proches. Puis il amorcera la fusion de l'hélium situé dans son cœur, se défaisant alors de ses couches externes avant de gonfler à nouveau jusqu'à englober la Terre. Quand l'hélium s'épuisera, le Soleil s'effondrera et perdra lentement son éclat pour devenir une naine blanche avant de s'éteindre complètement comme un feu devient cendres.

Les astronomes ont pu calculer que, dans notre Voie lactée, il naît de une à trois étoiles chaque année, tandis qu'autant de vieilles étoiles meurent. En extrapolant aux autres galaxies par des calculs simples, cela signifie que, chacune de nos années, il naît ou meurt quelque 500 millions d'étoiles dans l'Univers. Pareille considération est stupéfiante, porte un coup à notre orgueil, mais devrait d'autant plus nous faire apprécier chacun des jours précieux de la vie de notre étoile à nous, le Soleil.

**VOIR AUSSI** Observation en Chine d'une « étoile invitée » (185), Observation d'une « étoile » en plein jour (1054), Nébuleuses planétaires (1764), Naines blanches (1862), La fusion nucléaire (1939).

*Une image de notre étoile locale, le Soleil, prise dans l'ultraviolet par le télescope spatial de la NASA, Solar Dynamics Observatory. Jets, boucles, points plus chauds (plus brillants) et plus froids (plus sombres) sont autant de manifestations de l'activité intense, mais très ordinaire, d'une étoile parvenue à la moitié de sa vie.*