

101 MERVEILLES DU CIEL

qu'il faut avoir vues dans sa vie



Emmanuel Beaudoin est enseignant chercheur à l'université Paris-Saclay. Il observe et photographie le ciel depuis plus de trente ans et collabore régulièrement à la revue *Ciel & Espace*, dans laquelle il a publié plus de deux cents articles. Il est aussi l'auteur de *Photographier les astres en toutes saisons*, des *Petites expériences insolites pour découvrir l'Univers*, d'*À la découverte du ciel* et de *L'Astronomie comme vous ne l'avez jamais vue*.

À la mémoire d'André Doucet, astronome amateur exceptionnel.

Emmanuel Beaudoin

101 MERVEILLES DU CIEL

qu'il faut avoir vues dans sa vie

DUNOD

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
---------------------------	---

LE SYSTÈME SOLAIRE

DANS NOTRE ATMOSPHÈRE

1. La Lune et le Soleil ovales.....	14
2. Un mirage.....	16
3. Le rayon vert.....	18
4. Des nuages noctiluques	20
5. La ceinture de Vénus.....	22
6. Les Perséides.....	24
7. Les Léonides	26
8. La lumière zodiacale.....	28
9. Une aurore polaire	30
10. Des couleurs autour de la Lune	32
11. Le sillage de la Lune.....	34
12. Les rayons du Soleil	36

LUNE

13. Une lunaison	38
14. Les mers lunaires	40
15. La lumière cendrée	42
16. Les libérations de la Lune.....	44
17. Les cratères lunaires.....	46
18. Les traînées rayonnantes de la Lune .	48
19. Les montagnes lunaires	50
20. Les failles lunaires.....	52
21. Les volcans lunaires	54
22. Une éclipse totale de Lune	56

PLANÈTES

23. Mercure dans le crépuscule	58
24. Vénus, l'étoile du Berger	60
25. Le mouvement des planètes.....	62
26. Une conjonction.....	64
27. Une occultation par la Lune	66
28. Les phases de Vénus.....	68

29. La rotation de Mars	70
30. Les calottes de Mars	72
31. Un astéroïde	74
32. Jupiter et sa tache rouge	76
33. Les satellites galiléens	78
34. Saturne et ses anneaux.....	80
35. Uranus	82
36. Neptune.....	84
37. Une comète	86

SOLEIL

38. Le disque du Soleil	88
39. Une tache solaire	90
40. Les protubérances.....	92
41. Une éclipse de Soleil	94
42. Un transit de Mercure	96

LES CONSTELLATIONS ET LES ÉTOILES

CONSTELLATIONS

43. Orion.....	100
44. La Grande Ourse.....	102
45. Le triangle de l'été.....	104
46. L'Hexagone de l'hiver	106
47. La Croix du Sud.....	108
48. Le mouvement des constellations.....	110

ÉTOILES SIMPLES

49. Sirius	112
50. L'étoile polaire.....	114
51. Alpha du Centaure	116
52. Rhô de Cassiopée	118
53. 51 de Pégase	120
54. L'étoile de Barnard.....	122
55. Cygnus X-1.....	124
56. HD 140283.....	126

ÉTOILES DOUBLES

57. Albiréo	128
58. Mizar	130
59. Epsilon de la Lyre.....	132
60. 61 du Cygne.....	134

ÉTOILES VARIABLES

61. Algol	136
62. Mira de la Baleine	138
63. Delta de Céphée	140
64. Une nova	142

LA VOIE LACTÉE ET SES TRÉSORS

VOIE LACTÉE

65. La Voie lactée	146
66. Le grand Rift	148
67. L'inclinaison du Système solaire	150

NÉBULEUSES

68. La nébuleuse d'Orion	152
69. Lagune et Trifide	154
70. La nébuleuse Omega	156
71. la nébuleuse America.....	158
72. La nébuleuse de la Carène	160
73. La tache d'encre	162
74. La nébuleuse de la Pipe	164
75. Le Sac à Charbon	166

AMAS D'ÉTOILES

76. L'amas de la Rosette	168
77. Messier 35	170
78. L'amas des Pléiades.....	172
79. Les Hyades.....	174

80. Le double amas de Persée	176
81. Messier 4	178
82. Le grand amas d'Hercule	180
83. Oméga du Centaure.....	182
84. Le vagabond inter-galactique	184

VESTIGES D'ÉTOILES

85. L'anneau de la Lyre.....	186
86. La nébuleuse Dumbbell	188
87. La nébuleuse Helix.....	190
88. Les dentelles du Cygne	192
89. La nébuleuse du Crabe.....	194

LES AUTRES GALAXIES

90. Les nuages de Magellan.....	198
91. La galaxie d'Andromède	200
92. La galaxie du Triangle.....	202
93. Messier 81 et Messier 82	204
94. La galaxie du Tourbillon.....	206
95. La galaxie du Sombrero	208
96. NGC 1300	210
97. Les Antennes	212
98. L'amas de la Vierge.....	214
99. Messier 87	216
100. Abell 1656.....	218
101. Le quasar 3C 273	220

CARTES DE LA LUNE

ET CARTES DU CIEL	223
-------------------------	-----

POUR ALLER PLUS LOIN	234
----------------------------	-----

INDEX	235
-------------	-----

INTRODUCTION

LA TERRE

Notre planète est un balcon sur l'Univers. Un Univers immense, renfermant des milliards de galaxies, chacune peuplée de milliards d'étoiles. La plupart de ces étoiles sont certainement entourées d'un cortège de planètes mais nul ne sait si une seule d'entre elles pourrait être aussi clémente que la Terre. Notre planète est habitable grâce à son océan d'eau liquide, sa température douce et stable, son atmosphère d'azote et d'oxygène. Une atmosphère qui nous protège des radiations mortelles en provenance du Soleil en même temps qu'elle donne naissance à mille phénomènes optiques spectaculaires.

À dix kilomètres d'altitude, l'air est si raréfié qu'il n'est plus respirable. Plus haut, des cailloux du Système solaire se consomment en étoiles filantes. Au-delà de 100 kilomètres d'altitude, c'est déjà l'espace.

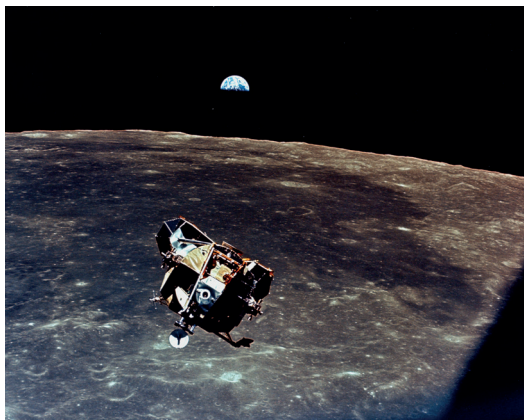


Une météorite passe à travers l'atmosphère terrestre (photographie prise depuis la Station spatiale internationale).

LA LUNE

Pour rencontrer l'astre le plus proche de la Terre, la Lune, il faut encore parcourir 400 000 kilomètres. Un abîme à travers lequel se sont aventurés des astronautes, au péril de leur vie, pour fouler le sol de notre satellite naturel et en rapporter quelques échantillons.

Ils ont découvert un astre mort, figé depuis des milliards d'années. Inhospitalier aussi, puisque la température qui y règne passe brusquement de -150 degrés Celsius la nuit à $+100$ degrés Celsius le jour. La beauté minérale de ses paysages, éclairés par la lumière crue du Soleil, émerveille malgré tout. Il y a des milliards d'années, des météorites, qui n'ont été freinées par aucune

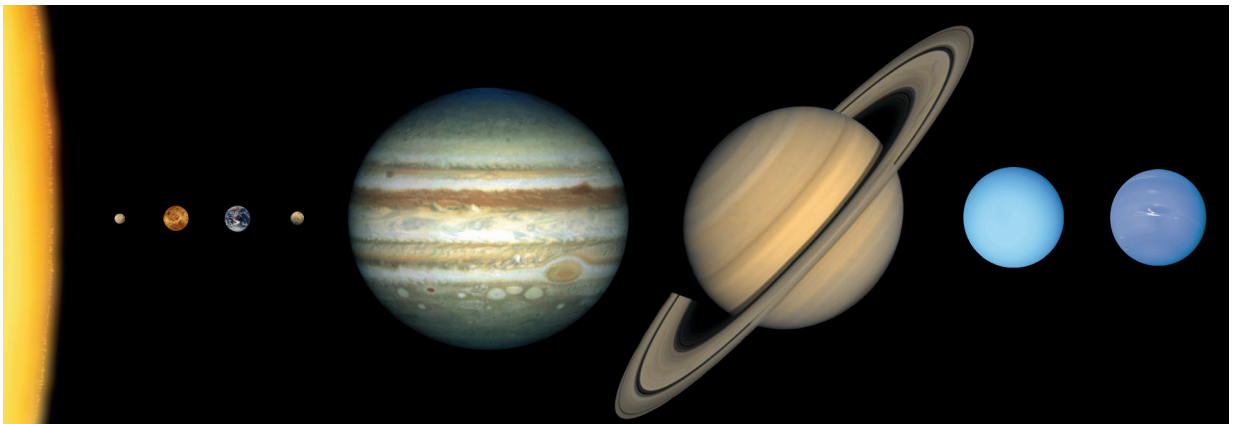


Le module lunaire d'Apollo 11 après son décollage de la Lune le 21 juillet 1969.

atmosphère, ont percuté la Lune de plein fouet et l'ont criblée de cratères. Les plus beaux d'entre eux atteignent plus de 100 kilomètres de diamètre et leur hauteur se compte en milliers de mètres... L'équivalent de nos hautes montagnes sur Terre. Ils sont tous parfaitement conservés et visibles dans une petite lunette.

LE SYSTÈME SOLAIRE

Le système Terre-Lune tourne autour du Soleil en compagnie de sept autres planètes et d'une multitude de corps plus petits. Pour atteindre ces planètes, il faut parcourir des millions de kilomètres. À la vitesse d'une sonde spatiale, voisine de 40 000 kilomètres à l'heure, trois jours suffisent pour rejoindre la Lune, tandis que plusieurs mois sont nécessaires avant d'arriver au voisinage de Mars ou de Vénus, les deux planètes les plus proches de la Terre. La sonde *New Horizons* a atteint Pluton en 2015 après plus de huit ans de périple. Les cinq planètes visibles à l'œil nu sont connues depuis l'Antiquité. Les planètes les plus proches du Soleil – Mercure, Vénus, la Terre et Mars – sont des corps solides ne dépassant guère une douzaine de milliers de kilomètres de diamètre. On les appelle les « planètes telluriques ». Plus loin, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune sont des planètes géantes gazeuses, composées de la même matière que les étoiles, c'est-à-dire d'hydrogène et d'hélium.



Les huit planètes du Système solaire, représentées à l'échelle (d'après des images de la NASA).

Les deux plus grosses, Jupiter et Saturne, mesurent dix fois le diamètre de la Terre. Si elles avaient été plus massives encore, la température en leur cœur aurait pu s'élever suffisamment pour que l'hydrogène se transforme en hélium, comme dans les étoiles, sous l'effet de réactions thermonucléaires. Les planètes géantes sont en quelque sorte des étoiles qui ne se sont pas allumées. La seule étoile qui brille dans le Système solaire se trouve en son centre : c'est le Soleil. Il est dix fois plus gros que Jupiter. Les réactions de

fusion de l'hydrogène en hélium portent son noyau à une température de 14 millions de degrés Celsius. Notre Soleil est une marmite bouillonnante, d'où s'échappent de la chaleur, des flots de particules et de la lumière. Les planètes se contentent de refléter cette lumière.

LA VOIE LACTÉE

Le Système solaire, malgré ses milliards de kilomètres de rayon, ne représente qu'une portion infinitésimale de notre galaxie. Nous habitons une galaxie spirale, un vaste ensemble de 200 milliards d'étoiles appelé la « Voie lactée ». Le Soleil, comme toutes les étoiles, tourne lentement autour du centre de notre galaxie, où se loge un gigantesque trou noir. Si notre compréhension du mouvement des planètes autour du Soleil remonte à la fin du Moyen Âge et à Copernic, ce n'est qu'au début du xxe siècle que le Soleil a été délogé du centre de l'Univers, grâce aux travaux d'Harlow Shapley.

Les distances des étoiles sont faramineuses en regard des dimensions du Système solaire. Tandis qu'il faut quelques années à une sonde spatiale pour rejoindre les planètes les plus lointaines, environ 100 000 ans lui seraient nécessaires pour atteindre Alpha du Centaure, l'étoile la plus proche après le Soleil. À la vitesse de la lumière – 300 000 kilomètres par seconde – trois ans suffisent. Le trajet parcouru par la lumière en une année, l'année-lumière, est donc un bon étalon de mesure de notre galaxie. Bien entendu, le voyage vers les étoiles ne peut pas se faire avec des sondes spatiales, incapables d'atteindre ne serait-ce que le millième de la vitesse de la lumière. Ce voyage se fait seulement avec les yeux. Et avec des télescopes et des détecteurs photographiques de plus en plus puissants, qui permettent de voir toujours plus loin, toujours mieux.

*Le centre de notre
galaxie entouré
d'un disque de jeunes
étoiles bleues
(vue d'artiste).*



LES ÉTOILES

En scrutant la Voie lactée, les astronomes ont découvert un monde d'une variété inouïe, où des étoiles guère plus grandes que Jupiter, les naines brunes, côtoient des étoiles si grosses qu'elles occuperaient presque toute la place si on les plaçait au centre du Système solaire. Bien que le firmament nous semble immuable, les étoiles naissent, vivent et meurent à des échelles de temps qui nous dépassent. Pour une étoile, une vie de 10 millions d'années est aussi courte que la journée d'un éphémère. Notre Soleil vivra par exemple mille fois plus longtemps.

À gauche : un amas de jeunes étoiles situé à la périphérie du Petit Nuage de Magellan (NGC 602).

À droite : une étoile en fin de vie expulse son atmosphère dans l'espace (la nébuleuse du Papillon).

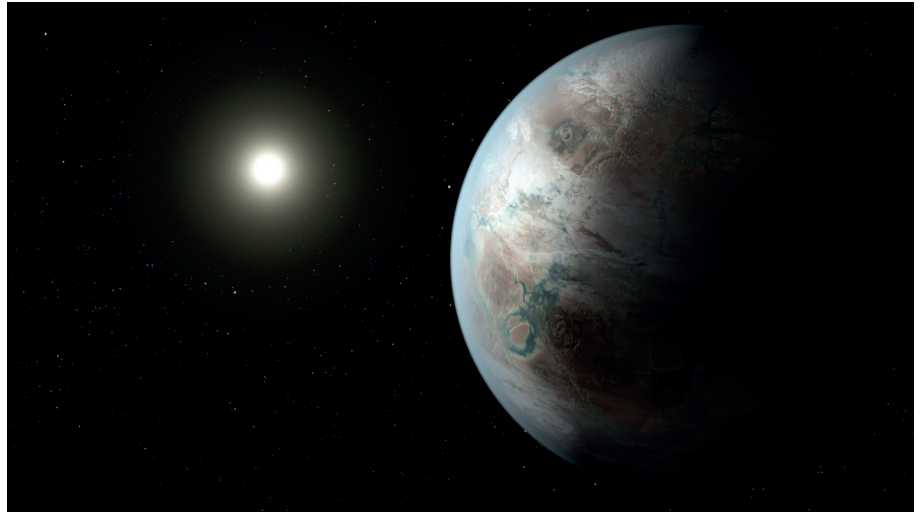


Les étoiles naissent par grappes entières, dans de vastes nuages d'hydrogène et d'hélium froids. Lorsqu'elles s'allument, elles deviennent très chaudes et brillent souvent d'un bel éclat bleu acier. Le gaz autour d'elles luit d'une délicate couleur rose ; il forme ce que l'on appelle une « nébuleuse ». Lentement, au fil de leur vie, les étoiles se refroidiront, ce qui les amènera à changer de couleur : de bleues elles deviendront blanches, puis jaunes, avant de virer au rouge.

Les étoiles de taille moyenne, comme le Soleil, s'éteignent en soufflant lentement leur atmosphère autour d'elles. Les atomes qu'elles ont fabriqués au cours de leur vie se répandent alors dans l'espace dans une somptueuse bulle colorée : du carbone, de l'azote, de l'oxygène... Ces mêmes atomes dont nous sommes faits et qui proviennent tous des étoiles. Les très grosses étoiles meurent de façon bien plus dramatique : elles explosent brusquement en supernovæ. Elles aussi expulsent alors leurs atomes dans l'espace. Des atomes dont certains, comme les métaux, sont très lourds, à la différence de ceux qui se créent dans les étoiles plus petites. Ainsi, la Terre, l'eau qui y coule, les

plantes et les êtres vivants qui la peuplent, n'auraient jamais pu apparaître aux premiers temps de l'Univers, car ce dernier était alors composé seulement d'hydrogène et d'hélium : il a fallu des générations d'étoiles pour fabriquer les atomes que l'on trouve sur les planètes telluriques du Système solaire ou les exoplanètes rocheuses récemment découvertes, comme Kepler 452b.

La lumière voyage à une très grande vitesse, mais la Voie lactée est immense. Si une étoile meurt aujourd'hui à l'autre bout de notre galaxie, l'éclat de son explosion ne nous parviendra pas avant plusieurs dizaines de milliers d'années. De la même façon, la lumière que nous percevons aujourd'hui des étoiles est partie il y a longtemps... d'autant plus longtemps que l'étoile est loin de nous. C'est l'une des facettes les plus envoûtantes de l'astronomie : les astres sont si éloignés qu'on les voit tels qu'ils étaient dans le passé. Nous observons Alpha du Centaure avec un décalage d'un peu plus de trois ans. L'étoile la plus lointaine visible à l'œil nu nous apparaît plus jeune de 12 000 ans : il s'agit d'une étoile en fin de vie, qui, de fait, est peut-être déjà éteinte à l'heure actuelle.



*La planète Kepler-452b
(vue d'artiste).*

LES AUTRES GALAXIES

Au début du ^{xx}e siècle, les astronomes, aux premiers rangs desquels Edwin Hubble, ont commencé à mesurer les distances dans l'Univers. Ils ont découvert qu'une catégorie d'objets célestes, les nébuleuses spirales, étaient bien trop éloignés pour appartenir à la Voie lactée. La nébuleuse d'Andromède par exemple, connue depuis plus de mille ans, serait à un million d'années-lumière de notre planète : dix fois plus que les étoiles les plus reculées de la

Voie lactée. D'autres nébuleuses spirales se sont avérées être plus lointaines encore. Ces astres n'avaient finalement de point commun avec les nébuleuses de la Voie lactée que leur aspect diffus dans les petits télescopes : ce sont des objets célestes très lointains et lumineux, peuplés de milliards d'étoiles, qui ressemblent à notre Voie lactée et que l'on a finalement appelés des « galaxies ». La galaxie d'Andromède est la plus proche de nous. Hubble avait sous-estimé sa distance : elle se situe à 2,5 millions d'années-lumière. Puisque regarder loin, c'est lire le passé, la remontée dans le temps devient vertigineuse. Nous voyons la galaxie d'Andromède telle qu'elle était il y a 2,5 millions d'années !

Les galaxies remplissent l'Univers, jusqu'à ses confins. Un télescope d'amateur permet d'en observer quelques milliers, alors qu'elles seraient près de 200 milliards. Les plus lointaines, capturées par le télescope spatial *Hubble* après une pose de 540 heures, se trouvent à un peu plus de 13 milliards d'années-lumière. Plus loin ? Il n'y a plus de galaxies, seulement un mur de lumière, appelé le « rayonnement fossile » ou encore le « fond diffus cosmologique ». Cette lumière extrêmement faible et rouge a été émise par l'Univers seulement 400 000 ans après sa naissance, le big bang, il y a 13,8 milliards d'années. On ne verra jamais plus loin que ce mur de lumière, on ne pourra jamais observer directement le big bang, car l'Univers très jeune était complètement opaque. Mais n'y a-t-il pas déjà assez comme ça pour s'étonner, s'émerveiller ? Les planètes du Système solaire, des étoiles à foison, des nébuleuses, des galaxies par milliers s'offrent à notre soif de voir et de comprendre. Parmi tous ces objets, certains sont particulièrement beaux, représentatifs de leur catégorie ou au contraire insolites. Nous en avons sélectionné 101. Ils vont nous permettre de refaire, ensemble, pas à pas, ce voyage étourdissant depuis la banlieue de la Terre jusqu'aux confins de l'Univers.

À gauche : la galaxie d'Andromède.

À droite : un amas de galaxies (Abell S1077).



