

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 ¹⁴ 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		

Observation d'une « étoile » en plein jour

Vers la fin du Haut Moyen Âge, de nombreuses sociétés disposaient de communautés florissantes, ou au moins naissantes, d'astronomes et mathématiciens. Il n'est donc pas très surprenant que l'apparition spectaculaire d'une nouvelle étoile dans la constellation du Taureau en 1054 ait été relevée par beaucoup.

Les astronomes chinois ont été les premiers à enregistrer l'apparition d'une « étoile invitée » le 4 juillet. Leurs observations ont été confirmées par des observateurs islamiques, japonais et coréens. L'événement a aussi été enregistré sur des peintures rupestres d'artistes de la civilisation amérindienne anasazie. Il semble que les Européens n'aient rien enregistré. Les observateurs chinois ont vu la nouvelle étoile en plein jour pendant 23 jours et la nuit pendant 654 jours avant qu'elle ne s'évanouisse. Au maximum de son éclat, sa magnitude a été estimée autour de -6 ou -7 , plus brillant que n'importe quel objet dans le ciel, à l'exception du Soleil et de la Lune.

Comme nous le savons aujourd'hui, ce que les astronomes médiévaux avaient observé était une supernova – l'explosion violente, cataclysmique d'une étoile massive, située à

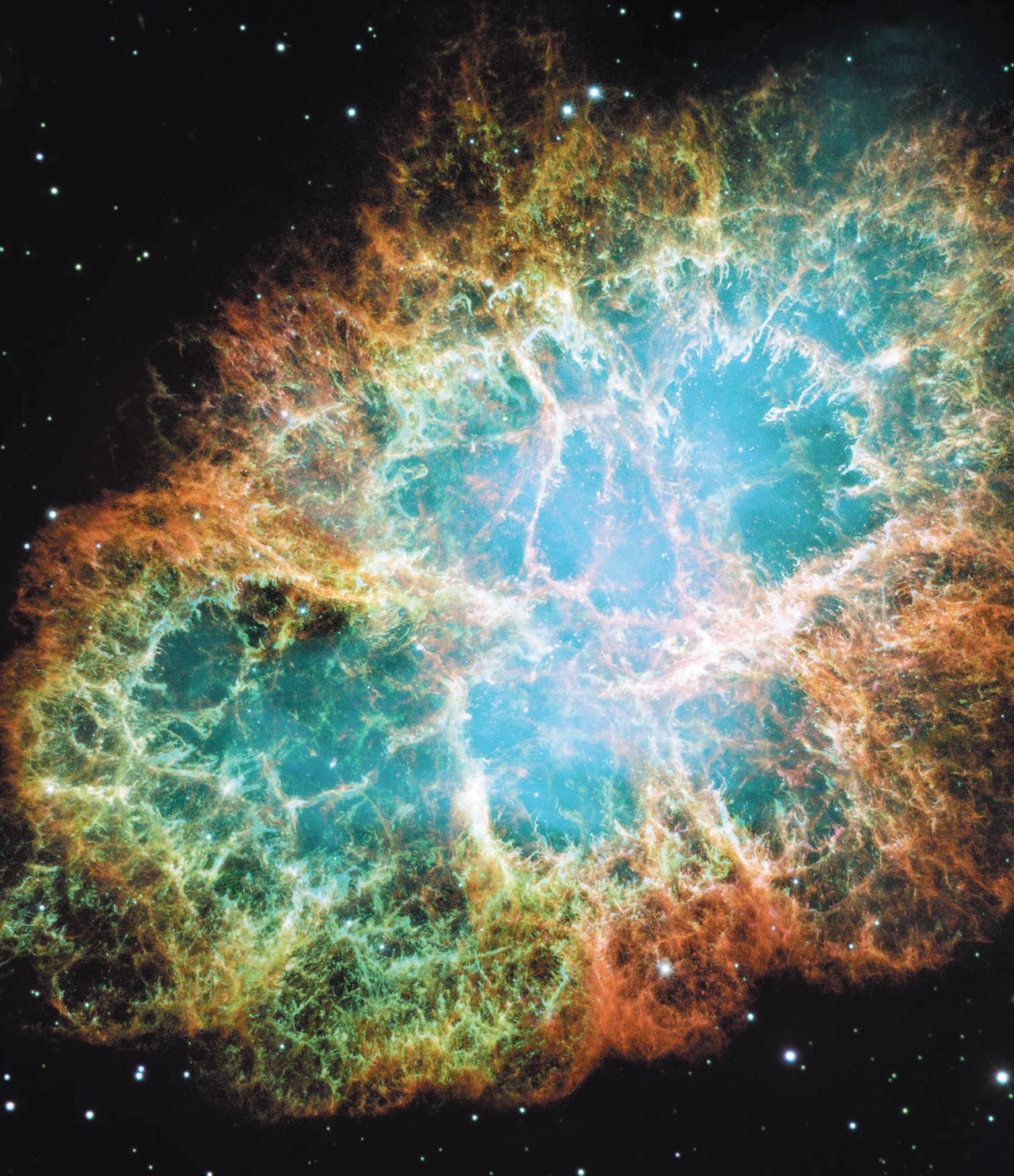
environ 6 300 années-lumière de la Terre, en panne de combustible pour maintenir la fusion nucléaire et qui, en s'effondrant sur elle-même, avait libéré une gigantesque quantité d'énergie gravitationnelle qui a rejeté les couches extérieures de l'étoile dans l'espace à des vitesses énormes, peut-être 10 % de la vitesse de la lumière. Plus de 650 ans après que la supernova se fut éteinte, les astronomes du XVIII^e siècle ont, pour la première fois, détecté la nébuleuse en émission en forme de crabe faite de gaz ionisés chauffés par l'onde de choc de l'explosion. À la fin des années 1960, des radioastronomes ont découvert que le cœur comprimé de l'étoile d'origine était devenu une étoile à neutrons, un pulsar, tournant rapidement sur elle-même (30 fois par seconde). Son diamètre n'est que d'une vingtaine de kilomètres mais sa masse est de 1,5 à 2 fois celle du Soleil. Les relevés précis de cet événement

établis par les anciens astronomes nous ont aidés à établir le lien, inconnu auparavant, entre supernovae, certaines nébuleuses en émission et les étoiles à neutrons.

VOIR AUSSI Naissance du Soleil (il y a 4,6 milliards d'années), Astronomie chinoise (vers $-2\ 100$), Observation en Chine d'une « étoile invitée » (185), Fusion nucléaire (1939), Pulsars (1967).



À GAUCHE : pétroglyphe anasazie montrant une main, un croissant de Lune et la nouvelle « étoile invitée » de 1054. À DROITE : mosaïque d'images, prises par le télescope spatial Hubble, de la Nébuleuse du Crabe, vestige, étendu sur six années-lumière, de gaz ionisé en expansion provenant de la violente explosion d'une supernova observée par les astronomes médiévaux en 1054.



L'ombre d'un trou noir

Les trous noirs sont certainement les astres les plus déroutants de l'Univers. Ce sont avant tout d'insatiables puits gravitationnels, car toute forme de matière ou de rayonnement qui s'aventure trop près de leur surface (leur « horizon ») se retrouve irrémédiablement engloutie par le trou noir, happée par leur incroyable gravité et sans espoir de retour. Les trous noirs sont ainsi des astres parfaitement sombres : aucune lumière ne peut s'en échapper.

Pourtant, en 2019, des radioastronomes sont bel et bien parvenus, pour la première fois, à tirer le portrait d'un de ces monstres cosmiques : il s'agit du trou noir supermassif M87*, niché au centre de la galaxie elliptique géante Messier 87 (M87). Bien sûr, ce n'est pas le trou noir lui-même que les radiotélescopes ont vu, mais son « ombre », détachée sur le fond brillant d'un disque d'accrétion entourant le trou noir. Dans son chant du cygne, le gaz du disque chauffé à très haute température est en effet entraîné dans une ronde effrénée autour du trou noir, à des vitesses proches de celle de la lumière. En retour, le gaz émet un puissant rayonnement, couvrant un large spectre de radiations allant des rayons X jusqu'aux ondes radio, en passant par les longueurs d'ondes visibles et infrarouges. C'est cette émission qui a été captée par les antennes du Event Horizon Telescope, un consortium mettant à contribution huit des plus grands radiotélescopes au monde, dont l'euro-

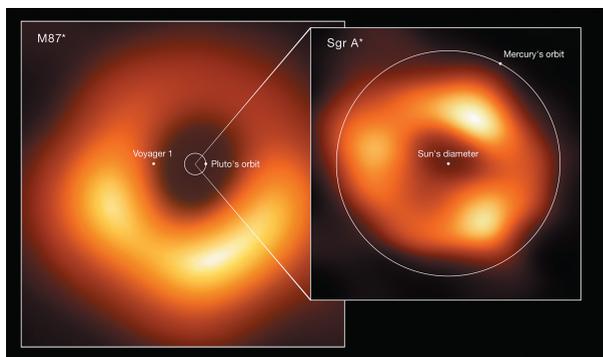
péen ALMA. À l'instar d'un portrait cubiste de Picasso où certaines facettes d'un visage apparaissent de profil et d'autres de face, l'énorme champ de gravité généré par le trou noir dévie les rayons lumineux dans son voisinage, au point que certaines régions cachées du disque apparaissent à l'image.

Cet exploit instrumental a été renouvelé en 2022 avec pour cible Sgr A*, le trou noir central de notre Voie lactée. Bien que de masses très différentes, Sgr A* (4 millions de masses solaires) et M87* (6,5 milliards de masses solaires) occupent une surface comparable sur le ciel – celle d'un beignet posé

sur la Lune. Mais Sgr A* étant beaucoup plus proche de la Terre que ne l'est M87* (27 000 années-lumière contre 55 millions d'années-lumière), son diamètre réel est en réalité très inférieur à celui de M87*. Le gaz ne met que quelques minutes pour faire le tour de Sgr A*, contre plusieurs jours, voire des semaines, pour M87*.

VOIR AUSSI Radioastronomie (1931), Galaxies elliptiques (1936), Galaxies spirales (1959), Quasars (1963), Trous noirs (1965), Le radiotélescope ALMA (2011), Ondes gravitationnelles (2015).

À GAUCHE : les trous noirs supermassifs M87* et Sgr A* occupent une surface comparable sur le ciel, mais leurs tailles réelles sont en revanche très différentes : Sgr A* n'occuperait qu'une fraction de l'orbite de Mercure, alors que M87* dépasserait de plusieurs fois celle de Pluton. À DROITE : image reconstruite de M87*.





Le télescope spatial James Webb

James E. Webb (1906-1992)

La puissance de l'astronomie spatiale a été mainte fois démontrée, souvent de façon spectaculaire, par une variété de petits, moyens et grands télescopes spatiaux, avec en point d'orgue les missions réussies des quatre « Grands Observatoires » de la NASA que sont Hubble (lancé en 1990), Compton (1991-2000), Spitzer (2002-2020) et Chandra (lancé en 1999). Cependant, même les instruments les mieux conçus ont une durée de vie limitée, et la question de leur succession se pose régulièrement.

Le successeur du télescope spatial Hubble s'appelle James Webb Space Telescope (JWST), du nom de James E. Webb, qui dirigea l'Agence spatiale américaine à l'époque des programmes *Mercury*, *Gemini* et au début d'*Apollo*. La NASA songeait en fait à la succession de Hubble avant même son lancement. Le concept a ensuite évolué, et un partenariat s'est tissé entre la NASA, l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et l'Agence Spatiale Canadienne (ASC) pour mener à bien sa réalisation. James Webb a ainsi été envoyé dans l'espace le 25 décembre 2021 du pas de tir de Kourou en Guyane française, et a atteint son point d'observation définitif un mois plus tard, le 24 janvier 2022.

Contrairement à Hubble qui évolue en orbite terrestre basse à seulement 600 km d'altitude, James Webb décrit une orbite solaire. Sa position particulière (point L_2 de Lagrange) le maintient en permanence dans l'alignement Soleil-Terre, à plus d'un million et demi de kilomètres au-dessus de nos têtes – soit environ quatre fois la distance Terre-Lune. Son miroir primaire, d'un diamètre de 6,5 mètres, a une surface collectrice six fois supérieure à celle de son prédécesseur, avec la particularité d'être constitué de 18 miroirs hexagonaux ajustables individuellement. Autre caractéristique, son bouclier thermique d'une taille inédite (22 mètres de long par 12 mètres de large), qui lui permet d'atteindre des températures de fonctionnement très basses – à peine 37 degrés au-dessus du zéro absolu –, rendant ses instruments extrêmement sensibles à des objets astronomiques très faiblement lumineux ou très lointains.

Le télescope spatial James Webb porte ainsi l'espoir de découvertes tous azimuts sur nombre de questions astrophysiques. On peut notamment citer l'étude des premières étoiles et des premières galaxies, la recherche de la matière noire, l'observation de disques protoplanétaires, ou encore la recherche d'exoplanètes aux conditions propices à la vie.

VOIR AUSSI Nébuleuse solaire (il y a 5 milliards d'années), Premières lunettes astronomiques (vers 1608), Nébuleuses planétaires (1764), Les points de Lagrange (1772), Lentilles gravitationnelles (1979), Le télescope spatial Hubble (1990), Le télescope spatial à rayons X Chandra (1999), Le télescope spatial Spitzer (2003), Roman Space Telescope (2027).

Vue d'artiste du télescope spatial James Webb, avec son miroir primaire segmenté et plaqué or de 6,5 mètres de diamètre, protégé du rayonnement solaire par son impressionnant bouclier thermique.

