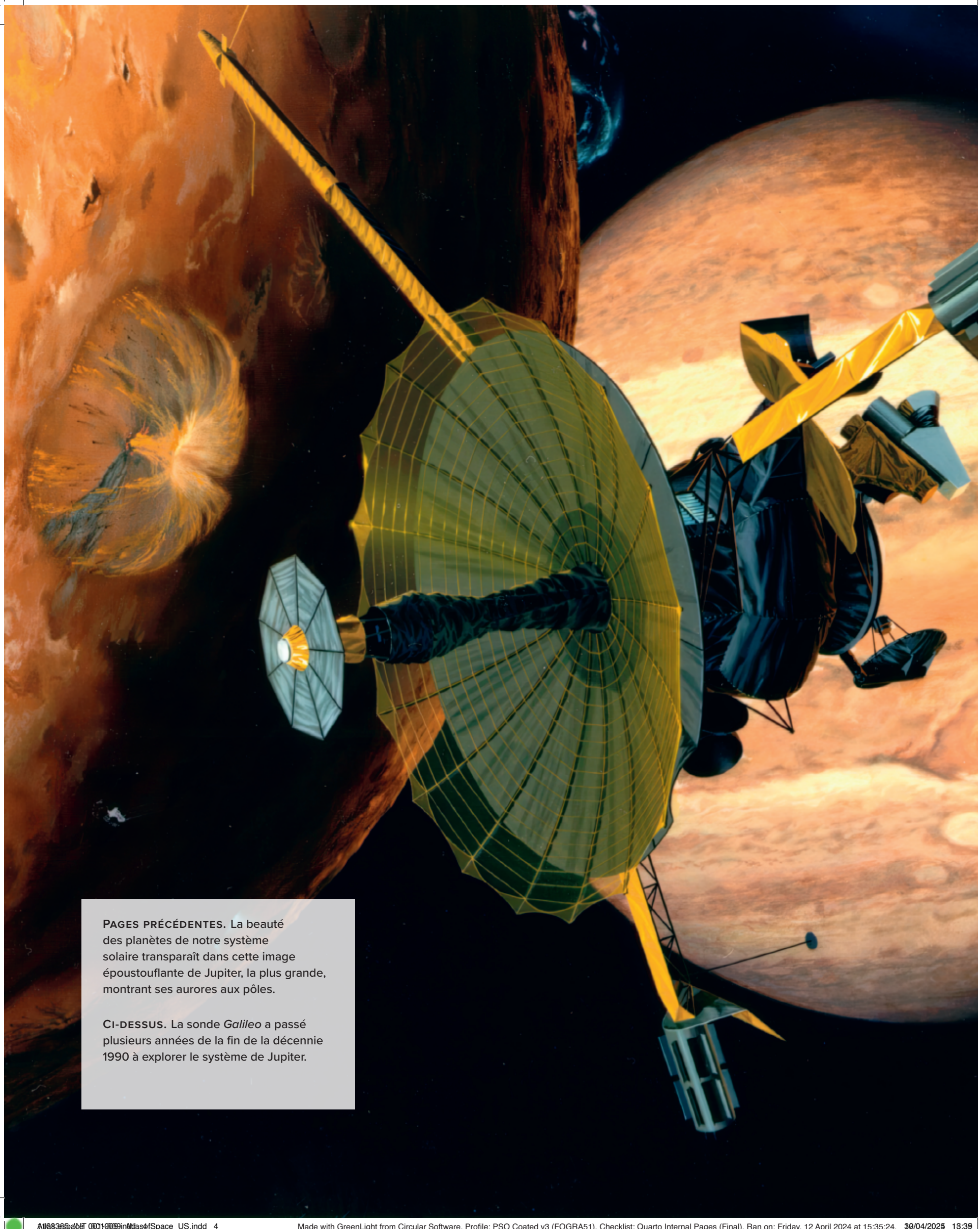
Roger D. LAUNIUS

ATLAS DE L'ESPACE

Une cartographie de l'univers du big bang au futur



Atlas Space_VST_001-009.indd 3 Atlas of Space_US.indd 3 30/04/2025 13:39
Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 15:35:24.



Pages précédentes. La beauté des planètes de notre système solaire transparaît dans cette image époustouflante de Jupiter, la plus grande, montrant ses aurores aux pôles.

Ci-dessus. La sonde *Galileo* a passé plusieurs années de la fin de la décennie 1990 à explorer le système de Jupiter.

Atlas_Space_VF_001-009.indd 4 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 15:35:24. 30/04/2025 13:39



SOMMAIRE

6 INTRODUCTION

10 NOTRE UNIVERS
16 Les conceptions anciennes de l'univers
22 Les modèles de l'univers dans la civilisation occidentale
28 Newton, Einstein et les mystères de l'espace-temps
32 Hubble, l'univers en expansion et la théorie du big bang
46 L'âge de l'univers
54 Une « métropole stellaire » déjà en formation après le big bang
62 Le mystère de la matière noire et de l'énergie sombre
68 La fin de l'univers

74 GALAXIES ET SYSTÈMES STELLAIRES
82 Des galaxies par billions ?
94 Vie et mort des étoiles
112 Supernovas, étoiles à neutrons et trous noirs
126 Les grands observatoires spatiaux et ce qu'il nous ont appris
142 Exoplanètes et possibilité de vie dans d'autres galaxies
150 La recherche d'une intelligence extraterrestre

152 LE SYSTÈME SOLAIRE EXTERNE
156 Les confins du système solaire
164 Pluton, la problématique
172 Le Grand Tour, et plus encore
180 Les plus éloignées des planètes joviennes : Neptune et Uranus
190 À la découverte de Saturne et Jupiter
208 Comètes, astéroïdes et corps glacés

220 NOS MONDES PROCHES
224 Mars, la séduisante
228 Premières missions sur Mars
232 Atterrisseurs, rovers et orbiteurs
248 À la recherche de l'eau : les espoirs de vie sur Mars
262 Des robots sur la Lune
272 Apollo et les alunissages
292 Missions vers la planète Terre
314 Vénus : un enfer sous les nuages
328 Brûlant Mercure
336 « Ce sacré vieux Soleil »

344 CE QUE POURRAIT RÉSERVER LE FUTUR
352 Des opérations lunaires régulières
368 Poursuivre l'exploration de Mars
374 Devenir une espèce multiplanétaire
390 L'exploration interstellaire : au-delà de 2100

394 Index
398 Remerciements
399 Crédits photographiques

Atlas_of_Space_US.indd 5 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 15:35:24. 30/04/2025 13:39



1 NOTRE UNIVERS

Atlas_Space_VF_010973.indd 10 Atlas_Space_US.indd 10 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00



L’univers est un lieu fabuleux. Cette image, prise en juillet 2022 par le *JWST*, montre une partie de la nébuleuse de la Carène, à 7600 années-lumière de la Terre.

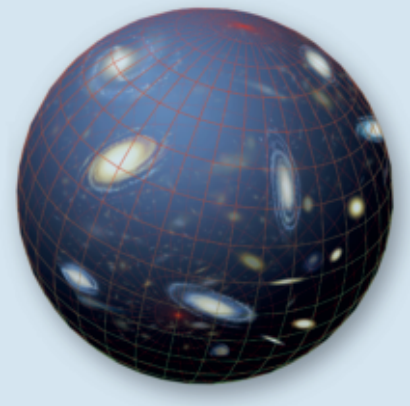


Atlas_espace_UT_010723.indd 11 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00
Atlas_Space_UT_010723_Ultra1Space_US.indd 11

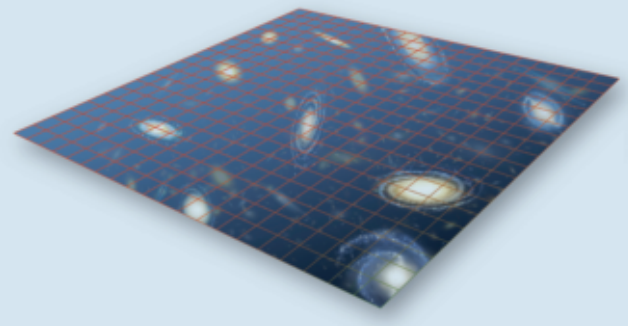
L'immensité de l'univers est inimaginable. Sa forme est inconnue. Il est peut-être sphérique, ou aplati comme une pièce de monnaie. Certains cosmologues avancent qu'il pourrait être l'un des nombreux multivers d'un système fini, voire infini. Il reste encore beaucoup de mystères à percer. Un univers sphérique peut être comparé à un ballon dans lequel nous nous situerions au centre. Comme un ballon que l'on gonfle, sa surface augmente, ses « parois » s'éloignant de plus en plus de son point central. Albert Einstein a qualifié ce modèle sphérique de « fini et pourtant illimité ». En revanche, une forme plate pourrait produire un univers infini. Le cosmologue John Mather, de la NASA, lauréat du prix Nobel et responsable scientifique du *JWST*, a suggéré que l'univers pourrait être plat « comme une feuille de papier [sans bord]… L'on pourrait ainsi aller infiniment loin dans n'importe quelle direction et l'univers resterait plus ou moins le même. » Dans la limite de nos capacités d'observation (jusqu'à 92 milliards d'années-lumière), il y a peut-être 2 000 milliards de galaxies, nous laissant nous demander ce qui se cache au-delà. Nous savons que l'univers a 13,8 milliards d'années, à quelques millions d'années près, et qu'il est probablement né de ce que les scientifiques appellent le « big bang », l'instant où un objet superdense, plus petit qu'une particule subatomique, a entamé une expansion rapide. Notre univers connaît chaque jour une croissance exponentielle, les galaxies s'éloignant les unes des autres à une vitesse toujours plus grande. Pourquoi ? Cette question n'a pas encore trouvé de réponse. En outre, seuls 4,9 % environ de l'univers sont composés de matière visible. Les 95,1 pour cent restants sont constitués de matière noire et d'énergie sombre invisibles qui ne peuvent être étudiées que théoriquement. Les chercheurs n'en savent que très peu sur ces dernières et ne peuvent faire mieux que d'extrapoler sur la base d'observations sur la matière visible, indirectement détectées sous l'action de la gravité et d'autres formes d'énergie. L'on sait, par l'observation, que notre univers est en expansion. Si l'univers n'est constitué que de galaxies, d'étoiles et de planètes, la gravité devrait suffire à le stabiliser. Dès lors, la matière et l'énergie noires sont-elles responsables de cette expansion ? C'est une question de plus à se poser.

PAGE DE DROITE. NGC 346, un amas d'étoiles distant de 200 000 années-lumière, a été capté par la caméra du *JWST* dans le proche infrarouge (NIRCam) le 11 janvier 2023. De telles images révèlent les éléments fondamentaux des galaxies, des étoiles et même des planètes, nous aidant à comprendre l'immensité de l'univers et à caractériser sa matière.

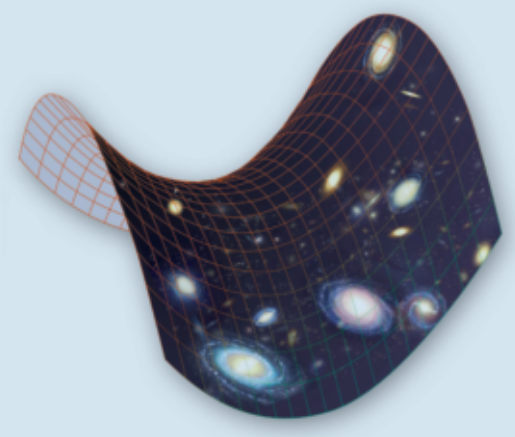
THÉORIES SUR LA FORME DE L'UNIVERS



L'univers sphérique n'est pas infini, mais il n'a pas de fin, de même qu'il n'y a pas de point sur la sphère qui puisse être considéré comme une « extrémité ».



Le fait que notre univers existe, avec les propriétés que nous observons aujourd'hui, nous indique que, très tôt, il était probablement presque plat. Sans matière noire ou énergie sombre, un univers plat s'étendrait à l'infini, mais à un rythme en constante décélération, l'expansion finissant par devenir presque nulle.



Un univers à courbure négative est dû à un manque de masse (manifestée par la gravité) qui ralentit son expansion. Un tel univers s'étendra à l'infini.

Atlas_Espace_UT_010723.indd 12 Atlas Space_US.indd 12 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00



Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00



Cette représentation de l'univers copernicien est tirée du *De revolutionibus orbium coelestium* (*Des révolutions des orbes célestes*) de Nicolas Copernic paru en 1543. Elle propose un modèle dans lequel le Soleil est au centre de l'univers connu, avec les planètes observables, la Terre et les étoiles représentées au-delà.

Dans son livre *Des révolutions des orbes célestes*, Copernic a avancé que le Soleil, plutôt que la Terre, était au centre du système solaire, les mouvements irréguliers de certaines planètes ne pouvant pas être expliqués par les épicycles de Ptolémée. Ce modèle « héliocentrique » de l'univers a résolu les failles du système ptolémaïque et a trouvé de plus en plus de soutien dans toute l'Europe. Le modèle de Copernic suit l'ordre suivant, du centre vers l'extérieur :

1. Le Soleil
2. Mercure
3. Vénus
4. La Terre (avec la Lune en orbite)
5. Mars
6. Jupiter
7. Saturne
8. Étoiles lointaines

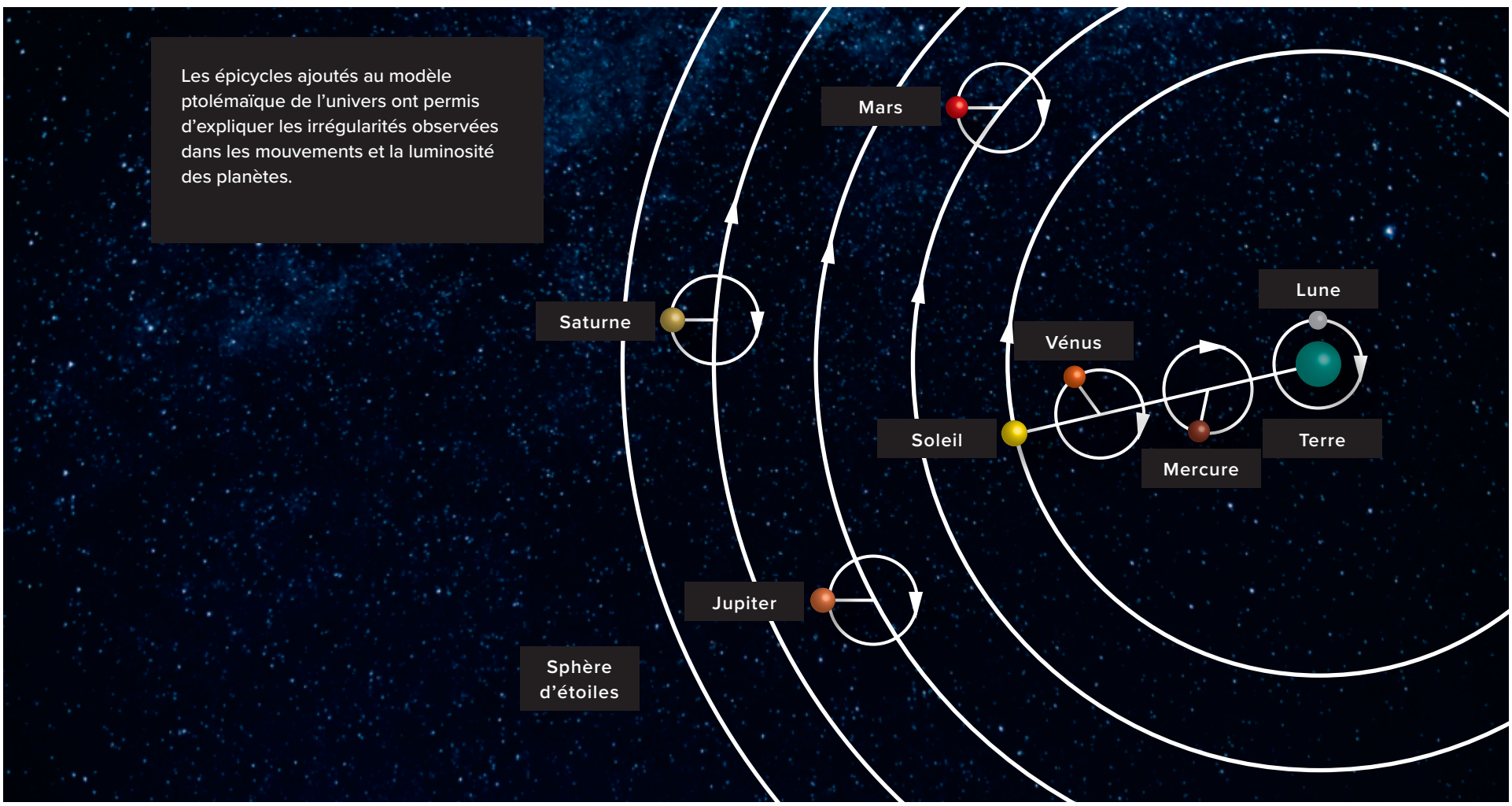
Cette proposition était alors loin d'offrir une vision complète du système solaire et n'envisageait pas les galaxies ainsi que d'autres aspects du cosmos au-delà, mais elle établissait une transformation majeure des connaissances.
Les penseurs chrétiens, qui plaçaient l'humanité au centre de l'univers, ont refusé d'accepter le modèle copernicien jusqu'au XVIIe siècle, mais Kepler, Galilée, Newton et d'autres sont venus renforcer les conclusions de Copernic. Cette transformation des idées communément appelée révolution copernicienne a marqué un changement fondamental dans notre compréhension de l'univers jusqu'à Albert Einstein, au début du XXe siècle (voir page 28).

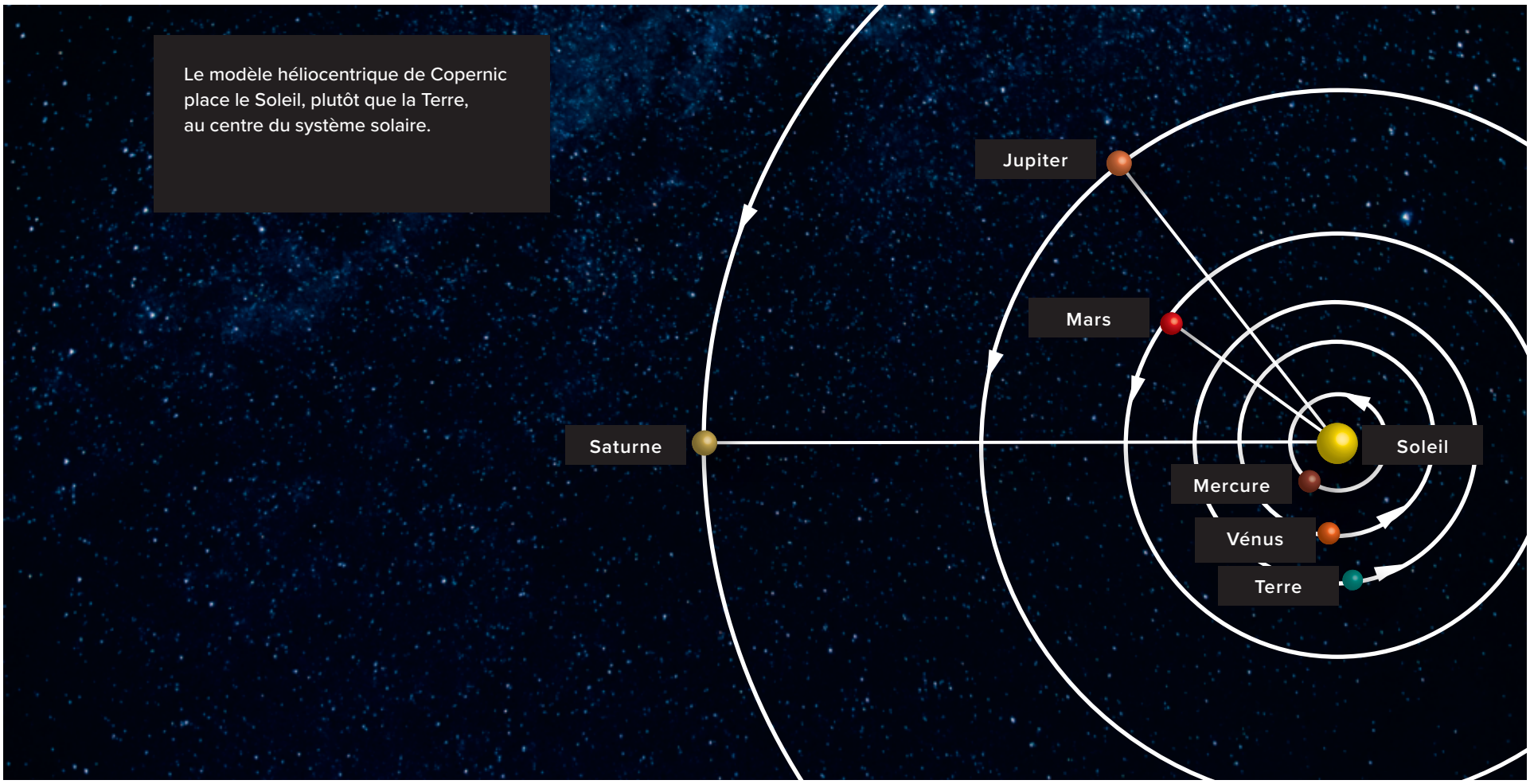


NICOLAUS COPERNICUS (1473–1543)

Né en Pologne, qui faisait alors partie du royaume de Prusse, Nicolas Copernic obtient un doctorat en droit canonique et étudie les mathématiques, l'astronomie, la médecine et les classiques. Bien qu'ayant compris, d'après ses calculs, que la conception ptolémaïque de l'univers était inexacte, il fait preuve, à ce sujet, de circonspection dans ses déclarations publiques. Pour éviter toute controverse, il ne publie son *De revolutionibus orbium coelestium* (*Des révolutions des orbes célestes*) qu'à l'approche de sa disparition en 1543 et en reçoit les dernières pages imprimées juste avant de mourir. L'Église catholique ne le censure pas ensuite officiellement, bien que certains le souhaitent, et ses conceptions deviennent la pierre angulaire de la transformation des connaissances sur l'univers.

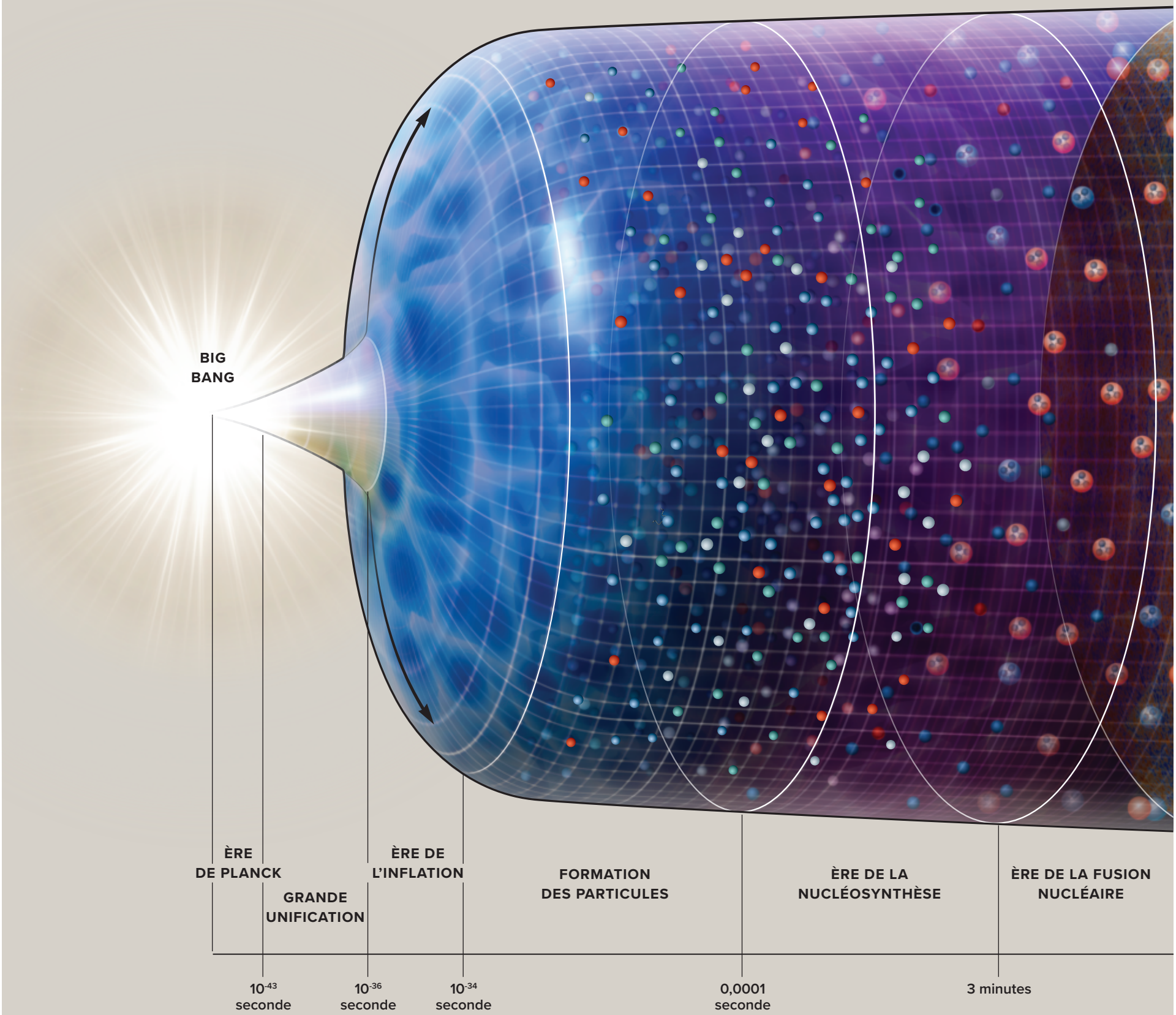
Atlas_Espace_UT_010723.indd 24 Atlas_Espace_US.indd 24 Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Wednesday, 17 April 2024 at 21:39:59. 25/04/2025 16:00



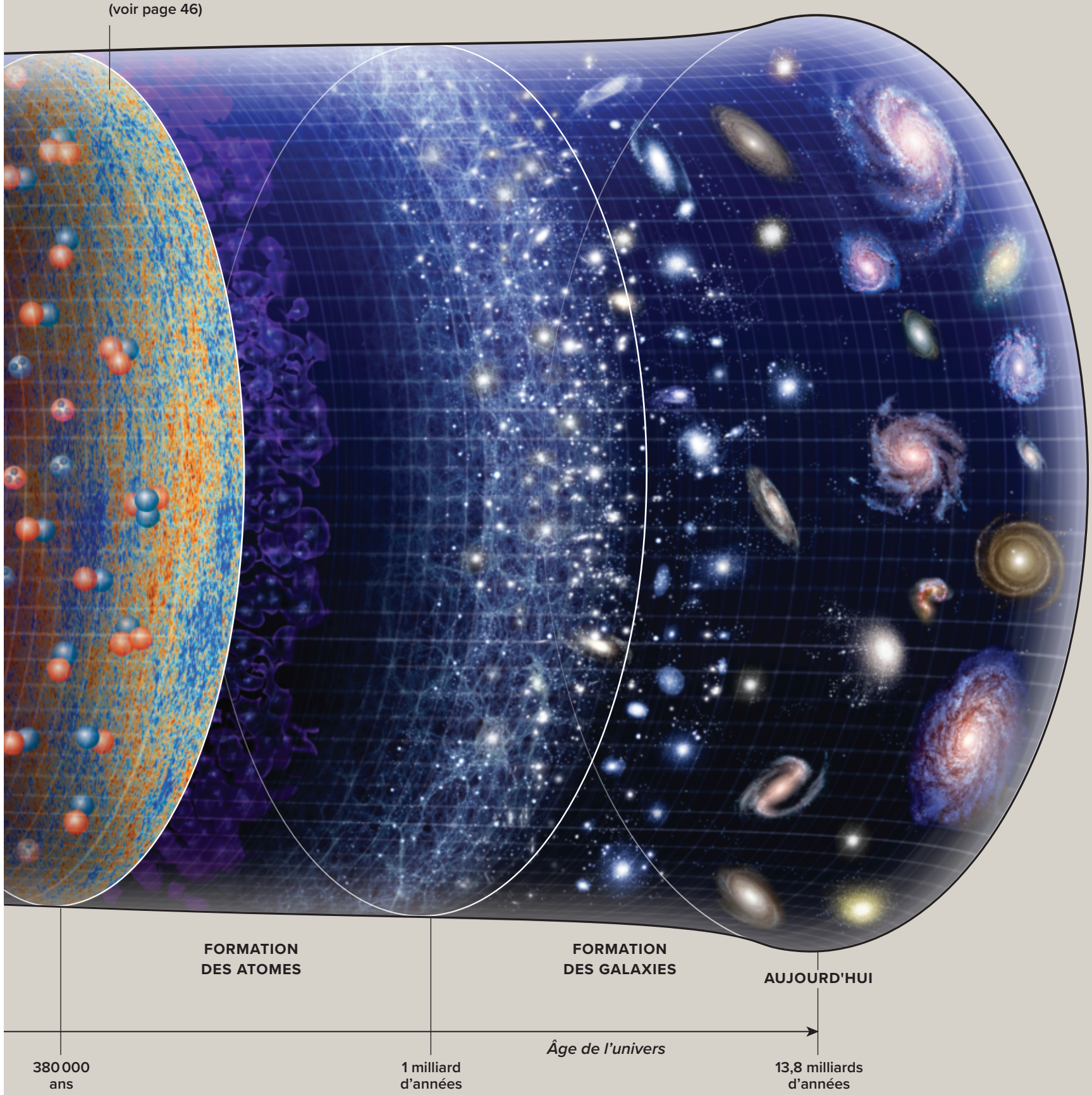


Atlas_Space_UT_0109073_Atlas_Space_US.indd 25 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00

Le big bang peut être défini comme une « singularité » qui, bien que de la taille d'un électron, contenait la totalité de la matière de l'univers. Son explosion a déclenché l'expansion et la formation de la matière des corps actuellement observés dans le cosmos. Les galaxies, omniprésentes dans le ciel moderne, sont relativement nouvelles et se sont formées il y a un milliard d'années. Au total, les cosmologistes estiment que l'univers proche contient 221373 galaxies à moins de 2 milliards d'années-lumière de la Terre. Cette chronologie de l'univers, du big bang à nos jours, se lit de gauche à droite. L'univers a traversé plusieurs époques. Au début, l'ère de Planck, partant du big bang jusqu'à environ 10^{-43} secondes, se rapproche le plus du commencement absolu de l'univers. Viennent ensuite la grande unification puis l'ère de l'inflation, respectivement à 10^{-36} et à 10^{-34} secondes après l'explosion du big bang. Des particules ont commencé alors à se former, fusionnant et se transformant au fil du temps pour devenir les éléments qui composent notre univers actuel.



Atlas_Espace_INT_010973.indd 40 Atlas_Espace_US.indd 40 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00



Atlas_Espace_UT_010973_Atlas41Space_US.indd 41 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00

L'ÂGE DE L'UNIVERS

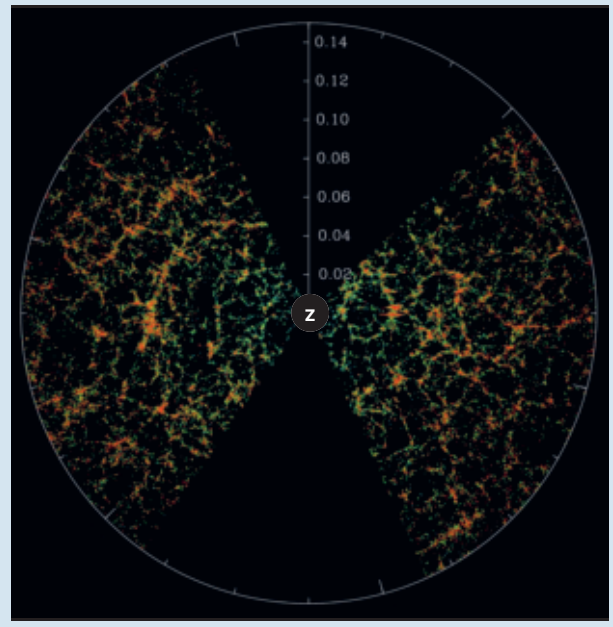
Les voyages spatiaux ont permis d'aller bien au-delà des connaissances issues des découvertes de Hubble, Lemaître et d'autres astrophysiciens d'avant la Seconde Guerre mondiale. Depuis les années 1960, une série d'observatoires spatiaux ont permis de mieux approcher les millions d'étoiles et de galaxies qui se trouvent au-delà de la Voie lactée.

L'univers a 13,787 +/- 0,020 milliards d'années et est en expansion depuis son origine. Nous le savons grâce au travail de Hubble et d'une multitude d'autres chercheurs qui ont suivi ses traces. Les corps lointains s'éloignent au fur et à mesure de l'expansion de l'univers, de sorte que la lumière qu'ils émettent est « étirée », ce qui altère sa longueur d'onde vers la partie rouge du spectre électromagnétique (voir page 36). Cette lumière voyage vers la Terre depuis des milliards d'années. En d'autres termes, nous voyons les objets lointains tels qu'ils apparaissaient lorsque cette lumière en est partie. C'est pourquoi les scientifiques de la NASA considèrent parfois les télescopes comme une forme de voyage dans le temps. Peut-être discutable, cette idée n'en est pas moins séduisante. Il est cependant incontestable qu'en observant des objets de plus en plus lointains les astronomes peuvent observer les premiers stades de l'univers.

L'EXPLORATEUR DU FOND COSMOLOGIQUE

Le *Cosmic Background Explorer* (*COBE*), opérationnel de 1989 à 1993, a constitué l'un des engins spatiaux les plus importants pour la compréhension des origines de l'univers. *COBE* a recherché et mis en évidence le rayonnement cosmique de fond issu du big bang, aux confins de l'univers observable. Sa découverte de la chaleur résiduelle du big bang, initialement surchauffé, a été comme la mise au jour d'empreintes digitales sur le lieu d'une enquête. À partir de là, les chercheurs ont élaboré une théorie beaucoup plus complète de l'origine de l'univers.
COBE n'a pas été le premier à mesurer le fond diffus cosmologique (cette distinction revient au soviétique *RELIKT-1* en 1983), mais il était alors le plus sophistiqué de tous. Plus tard, la sonde d'anisotropie micro-onde de Wilkinson (*WMAP*, 2001-2010) de la NASA et la sonde *Planck* (2009-2013) de l'ESA ont entrepris une étude de l'ensemble du ciel (couvrant tout ce qui est visible depuis la Terre), fournissant les meilleures données à ce jour sur les origines de l'univers. Les mesures précises du fond diffus cosmologique ont également permis d'affiner les estimations de la taille, de la masse, de l'âge, de la composition, de la géométrie, et même du destin de l'univers, à savoir s'il s'effondrera sur lui-même ou s'il s'étendra à jamais (voir page 68).

DES GALAXIES VIEILLISSANTES



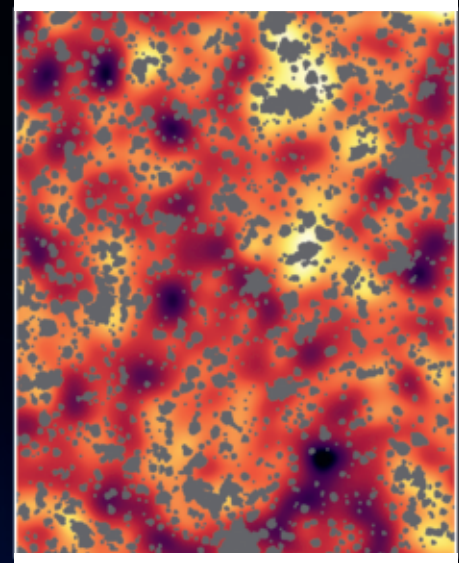
Cette illustration du programme de cartographie Sloan Digital Sky Survey montre la répartition des galaxies, avec la Terre au centre. Chaque point coloré en représente une, codée en fonction de l'âge de ses étoiles. Les points les plus rouges et les plus fortement regroupés indiquent celles contenant des étoiles plus âgées, tandis que les points verts montrent les plus jeunes. Les zones sombres n'ont pas pu être cartographiées en raison de la poussière obscurcissante provenant de notre propre galaxie. Le cercle extérieur se situe à 2 milliards d'années-lumière ou à un décalage vers le rouge (z) de 0,15, comme l'indique l'échelle.

À DROITE, EN HAUT. Cet ensemble composite d'images provenant de trois observatoires astrophysiques de la NASA montre des images dans les zones micro-ondes, infrarouge et lumière visible du spectre électromagnétique. Positionnées dans la chronologie en dessous, elles présentent une carte de l'univers au fil du temps.

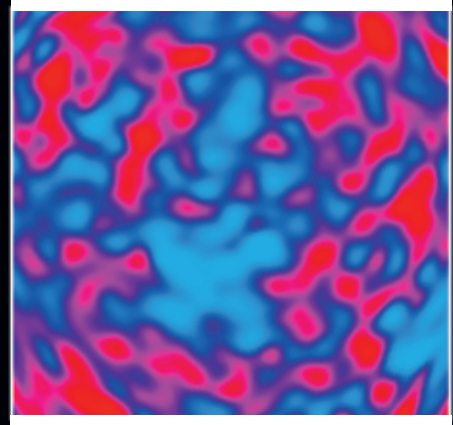
À DROITE, EN BAS. Cette vue de l'ensemble du ciel a été produite par l'équipe scientifique du *COBE* en 1999. Cette image à faible résolution met en évidence les régions froides et chaudes. La grande bande rouge correspond aux émissions de micro-ondes de notre propre galaxie. Cette image révèle une gamme de températures de ± 100 microkelvins.

Atlas365_INT_0109073_indd_46Space_US.indd 46 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00

« Première lumière » du télescope *Spitzer*



Fond diffus cosmologique *COBE*



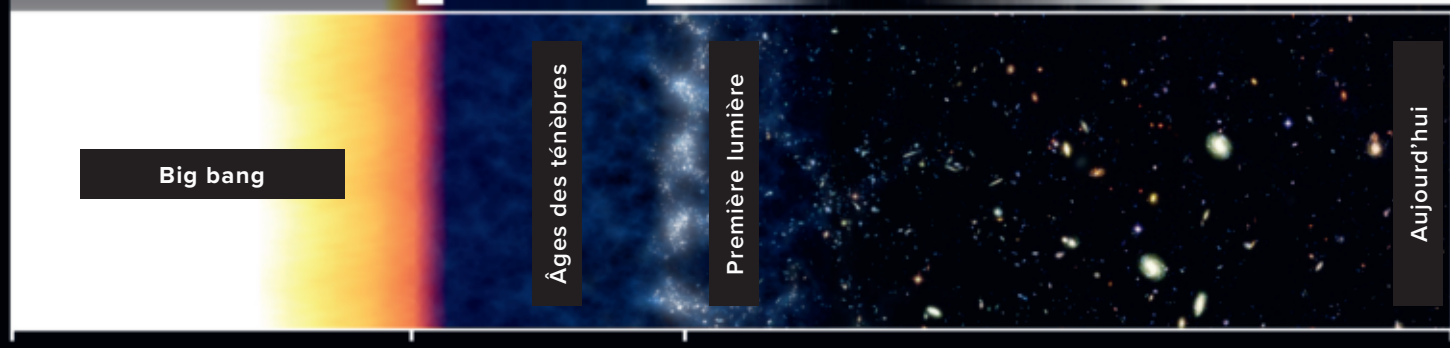
Micro-ondes

Infrarouge

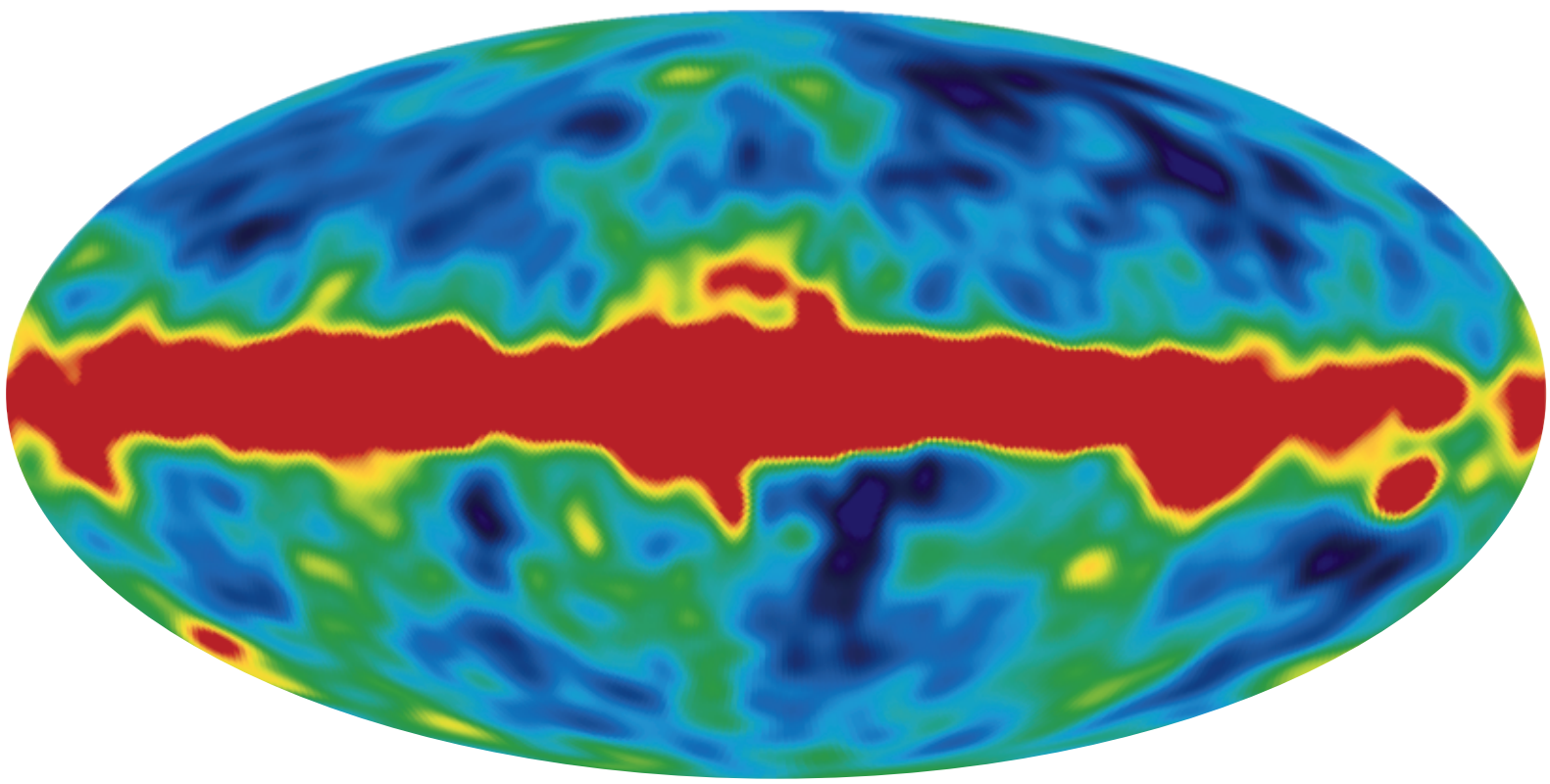
Champ profond de *Hubble*



Visible



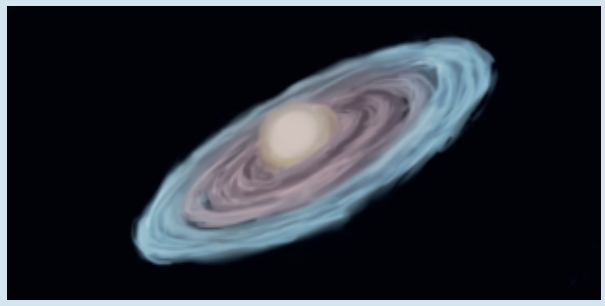
0 an | 400 000 ans | 400 millions d'années | 13,8 milliards d'années



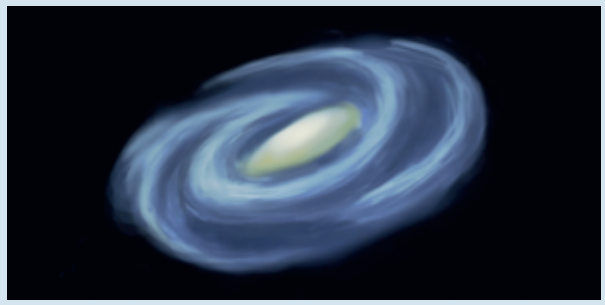
Atlas_Space_UT_010723.indd 47 Atlas_Space_US.indd 47 Made with GreenLight from Circular Software. Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 13:31:05. 25/04/2025 16:00

TYPES DE GALAXIES

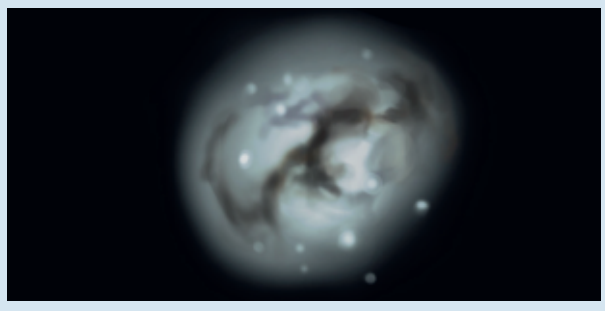
Les astronomes ont classé les galaxies en quatre types : spirales, spirales barrées, elliptiques et irrégulières.



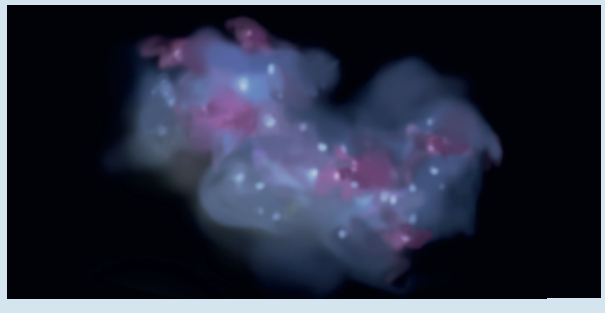
Les galaxies **spirales**, le type le plus courant, sont des formations torsadées d'étoiles et de gaz.



En simplifiant, une galaxie **spirale barrée** présente de grandes barres émanant de son centre, ainsi que les bras d'étoiles habituels dans les galaxies spirales.



Une galaxie **elliptique** a une forme généralement ellipsoïdale et révèle, en grande partie, une image lisse et sans caractéristiques visibles.



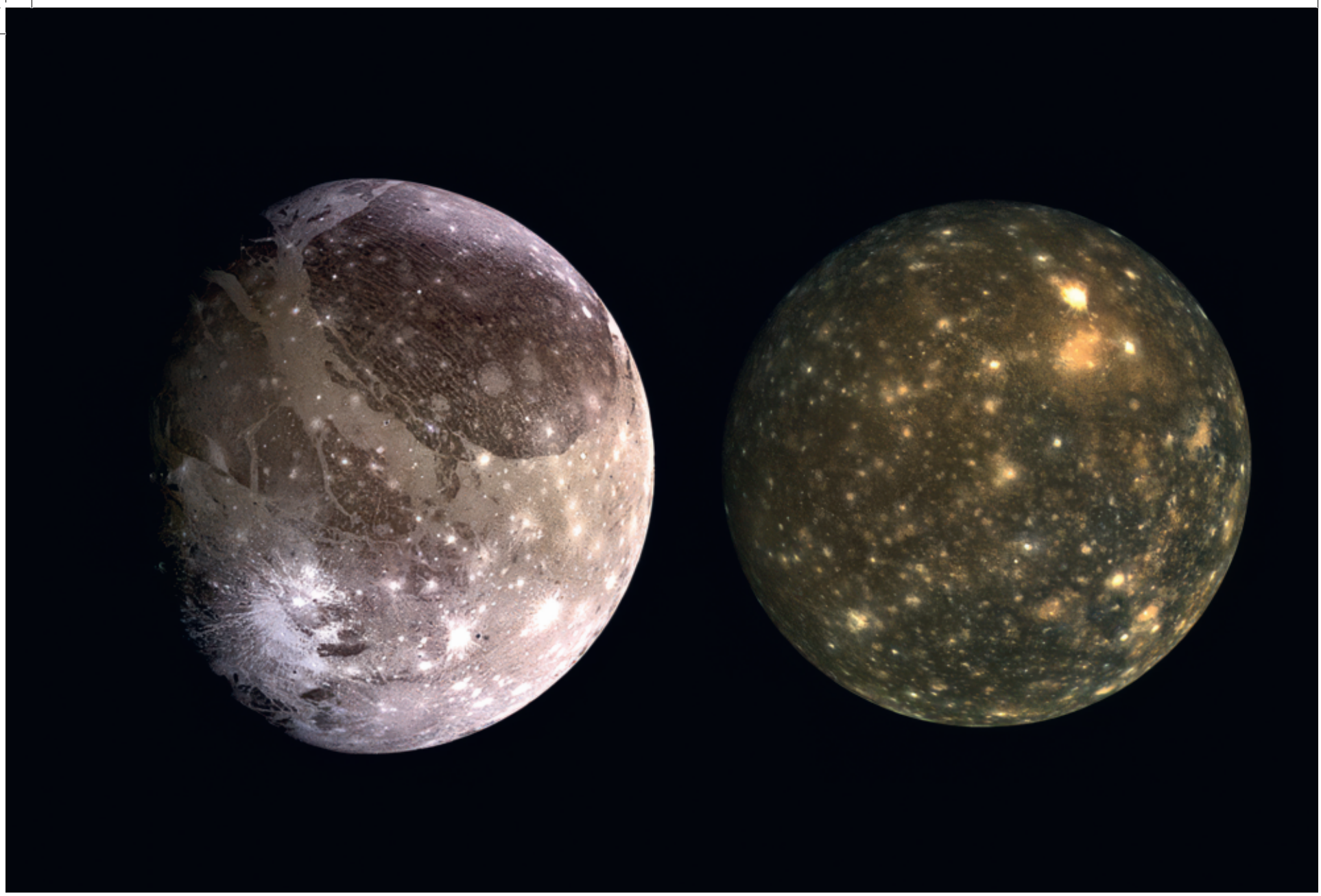
Une galaxie **irrégulière**, comme son nom l'indique, n'a pas de forme régulière distinctive, contrairement à une galaxie spirale ou elliptique.

La galaxie spirale Messier 101 (M101), également appelée NGC 5457 et parfois galaxie du Moulinet, est située dans la constellation de la Grande Ourse (*Ursa Major*), à environ 21 millions d'années-lumière de la Terre. Cette image composite étonnante a été obtenue par cinquante et une expositions séparées prises par *Hubble* (*HST*) et plusieurs télescopes terrestres en 2006.

Atlas_Space_UT_074151_Atlas_Space_US.indd 86 25/04/2025 16:26
Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Thursday, 11 April 2024 at 17:40:56.



Atlas_Space_US.indd 87 25/04/2025 15:26
Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Thursday, 11 April 2024 at 17:40:56.

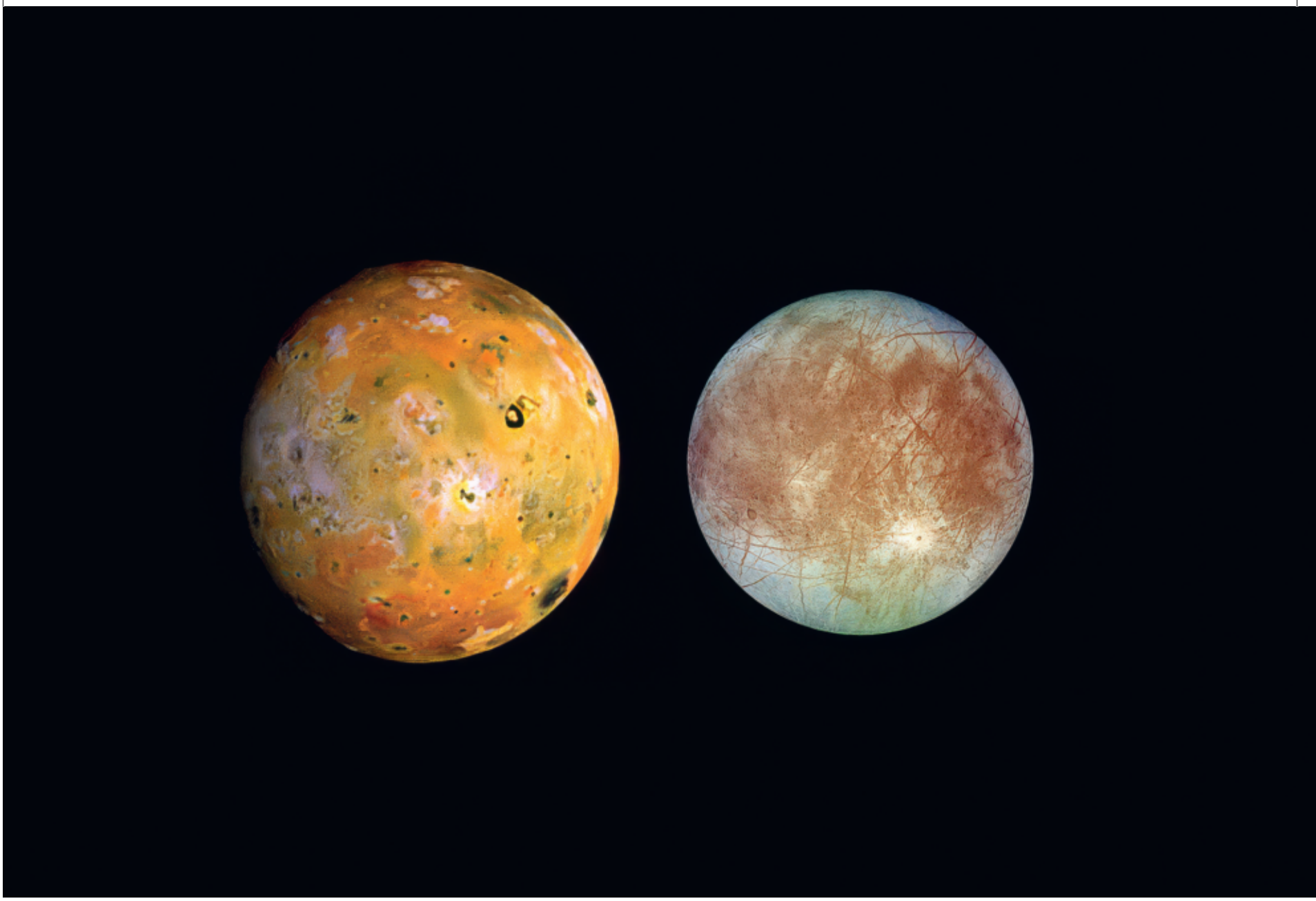




EDWARD C. STONE (1936-2024)

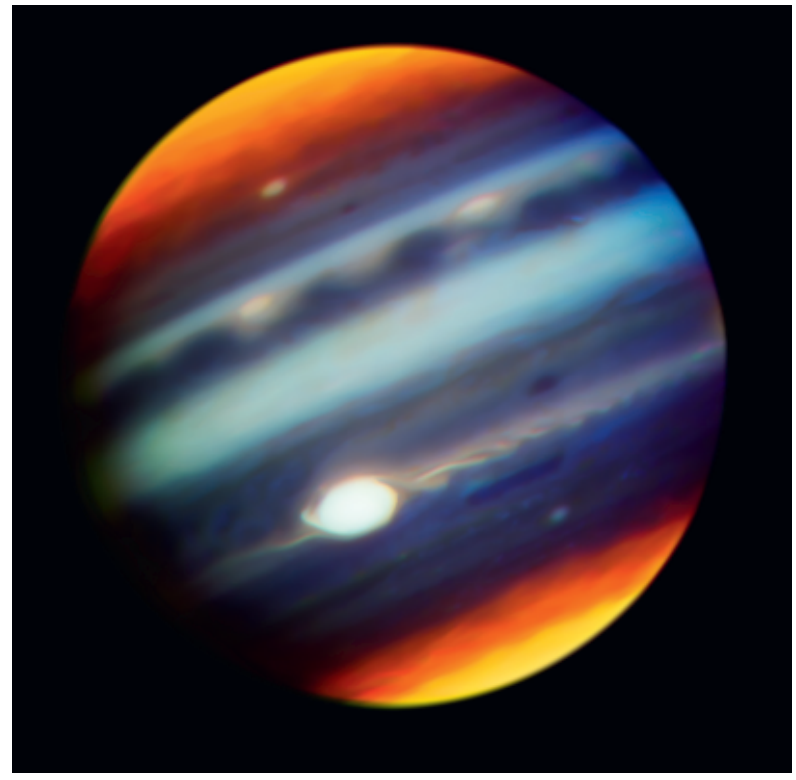
Nommé responsable scientifique de la NASA pour la mission Voyager en 1972, Edward C. Stone a dirigé les recherches du programme pendant plus de vingt ans. Ses travaux ont contribué à ouvrir l'ère de l'exploration des planètes extérieures dans les années 1970. Entre 1991 et 2001, il a été directeur du Jet Propulsion Laboratory, ce qui n'a pas mis fin à son travail sur *Voyager*. Il a supervisé la mission interstellaire Voyager au début de ce siècle et demeurera une figure majeure de la recherche planétaire.

Atlas_espace_UT_1522219_Atlas_espace_US.indd 204 Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 14:28:49. 25/04/2025 16:38



Ci-dessus. Les quatre plus grandes lunes de Jupiter, à leur dimension relative. De gauche à droite : Callisto, Ganymède, Io et Europe.

À droite. Cette image infrarouge composite en fausses couleurs de Jupiter révèle des particules de brume à différentes altitudes, telles qu'elles apparaissent dans la lumière solaire réfléchie. Elle a été prise par l'imageur proche infrarouge du télescope Gemini Nord le 18 mai 2017, en collaboration avec l'étude de Jupiter par la mission Juno de la NASA.



Atlas_espace_1522219_int_205_US.indd 205 Profile: PSO Coated v3 (FOGRA51). Checklist: Quarto Internal Pages (Final). Ran on: Friday, 12 April 2024 at 14:28:49. 25/04/2025 16:38