

NOUVEL HAY MAGAZINE

SANS FRONTIÈRES

L'Univers

L'**Univers**, au sens [cosmologique](#), est l'ensemble de tout ce qui existe, décrit à partir d'[observations scientifiques](#) et régi par des [lois physiques](#).

La [cosmologie](#) cherche à appréhender l'Univers d'un point de vue scientifique, comme l'ensemble de la [matière](#) et de l'[énergie](#) distribuées dans l'[espace-temps](#). Pour sa part, la [cosmogonie](#) vise à établir une théorie de la création de l'Univers sur des bases [philosophiques](#) ou [religieuses](#). La différence entre ces deux définitions n'empêche pas nombre de physiciens d'avoir une conception finaliste de l'Univers (voir à ce sujet le [principe anthropique](#)).

Si l'on veut faire correspondre le mouvement des [galaxies](#) avec les lois physiques telles qu'on les conçoit actuellement, on peut considérer que l'on n'accède par l'expérience qu'à une faible partie de la matière de l'Univers¹, le reste se composant de [matière noire](#). Par ailleurs, pour expliquer l'accélération de l'[expansion de l'Univers](#), il faut également introduire le concept d'[énergie sombre](#). Plusieurs modèles alternatifs ont été proposés pour faire correspondre les équations et nos observations en prenant d'autres approches.

Découverte dans l'Histoire

Articles détaillés : [Monde \(univers\)](#) et [Révolution copernicienne](#).



« Un missionnaire du Moyen Âge raconte qu'il avait trouvé le point où le ciel et la Terre se touchent. », [gravure sur bois de Flammarion](#), publiée dans *L'atmosphère : météorologie populaire* (1888). Colorisation : Heikenwaelder Hugo, Vienne (1998).

Les [sciences grecques](#) sont à l'origine des premiers écrits décrivant la composition du [monde](#) et sont les premières à formuler des explications :

- les philosophes [Parménide](#), [Platon](#) et [Aristote](#) formulent le principe du [cosmos](#) ; ils admettent l'idée d'une [Terre sphérique](#), mais ils l'envisagent au centre de l'Univers physique, alors que l'école de [Milet](#) se représente la [Terre plate](#) ;
- les pythagoriciens pensent que le [Soleil](#) (le feu) est au centre de l'Univers et que la Terre, qui n'est qu'une [planète](#) comme les autres, se meut autour de lui. [Aristote](#), dans le traité *Du ciel* (II, XIII, 293 a 18), confirme l'hypothèse de mouvements planétaires circulaires et parfaitement ordonnés² ;
- [Ératosthène](#) tente de réaliser des calculs précis, notamment la mesure de la circonférence d'un [méridien](#) terrestre ;
- [Aristarque de Samos](#) est le premier à envisager un modèle de [système planétaire héliocentré](#). Cette découverte n'est alors pas suivie³, bien qu'elle puisse s'admettre d'un point de vue purement mathématique, parce qu'« elle s'[oppose] à la physique ancienne et [implique] aussi nécessairement un éloignement inimaginable des [étoiles fixes](#) par rapport à la Terre (puisque leurs positions relatives [restent] inchangées tout au long de sa [révolution annuelle](#))⁴ ». Aristarque calcule aussi la distance Terre-[Lune](#) pour laquelle il trouve une valeur discutée, mais qui se situe en tout état de cause dans un ordre de grandeur acceptable⁵, ainsi qu'une distance Terre-Soleil⁶ ;
- [Hipparque](#), au II^e siècle av. J.-C., poursuit ce travail : il recalcule, selon des méthodes nouvelles, la distance Terre-Soleil ainsi que la distance Terre-Lune (pour laquelle il retient la valeur de $67 \frac{1}{3}$ [rayons terrestres](#), contre 60,2 en réalité⁷), recense environ 850 [étoiles](#)⁸, retrouve approximativement la période de [précession des équinoxes](#), qui était déjà connue des [Babyloniens](#)⁴ ;
- [Ptolémée](#) poursuit le travail d'Hipparque. Son *Almageste* sera une référence astronomique essentielle pendant treize siècles.



L'Univers selon le système de [Ptolémée](#), vu par [Andreas Cellarius](#) en 1660-1661. Le philosophe et poète romain [Lucrèce](#), au premier siècle av. J.-C, affirme dans le [De rerum natura](#) que « l'univers existant n'est [...] limité dans aucune de ses dimensions », qu'il n'a « ni limite, ni mesure » et qu'importe « en quelle région de l'univers on se place [...] puisqu'on laisse le tout immense s'étendre également dans tous les sens »[9](#).

Ces connaissances du monde grec perdurent et influencent les sciences [arabes](#) après l'effondrement de l'Empire romain d'Occident. Elles restent présentes en Orient (particulièrement, avec des hauts et des bas, à Byzance[10](#)), même si [Cosmas d'Alexandrie](#) tente, sans succès, de restaurer le modèle d'un monde plat.

La [Renaissance](#) porte à son apogée cette représentation du monde, grâce aux explorations et aux grandes découvertes qui eurent lieu du XIII^e au XVI^e siècle, à partir de systèmes [géographiques](#) et cosmologiques très élaborés ([projection de Mercator](#)).

La [révolution copernicienne](#) bouleverse cette [cosmologie](#) en trois étapes :

1. [Copernic](#) redécouvre l'[héliocentrisme](#). Toutefois, il reste attaché aux sphères transparentes du modèle d'Aristote (pourtant délaissé par Ptolémée) censées soutenir les [planètes](#) et leur imprimer leur mouvement ; il présente son système comme un simple artifice destiné à simplifier les calculs ;
2. Le dominicain [Giordano Bruno](#) défend la réalité du modèle héliocentrique et l'étend à toutes les [étoiles](#), ouvrant la dimension de l'Univers physique à l'infini. Il sera brûlé au [bûcher](#) en tant qu'[hérétique](#) non pour des raisons scientifiques, mais religieuses ;
3. [Kepler](#), [Galilée](#) et [Newton](#) posent les bases fondamentales de la [mécanique](#) à partir du [mouvement](#) des planètes, grâce à leurs études

respectivement du mouvement [elliptique](#) des planètes autour du [Soleil](#), l'affinement des observations [astronomiques](#) par la définition du mouvement uniformément accéléré, et la formalisation mathématique de la force de [gravité](#). L'Univers, toutefois, reste confiné dans le [Système solaire](#).

Des modèles physiques tels que la [sphère armillaire](#) ou l'[astrolabe](#) ont été élaborés. Ils permettent d'enseigner et de calculer la position des astres dans le ciel visible. Aujourd'hui encore, la [carte du ciel mobile](#) aide les [astronomes amateurs](#) à se repérer dans le ciel, c'est une réincarnation de l'astrolabe.

En 1781, l'astronome britannique [William Herschel](#) découvre [Uranus](#) orbitant au-delà de l'orbite de [Saturne](#), avant que ne soient trouvées [Neptune](#) et [Pluton](#), le monde s'agrandissait de plus en plus.

Naissance de l'Univers

Article détaillé : [Histoire de l'Univers](#).

Expansion, âge et Big Bang

Articles détaillés : [Frise chronologique du Big Bang](#), [Expansion de l'Univers](#) et [Big Bang](#).

Les observations du [décalage vers le rouge](#) des [rayonnements électromagnétiques](#) en provenance d'autres [galaxies](#) suggèrent que celles-ci s'éloignent de [notre galaxie](#), à une [vitesse radiale](#) d'éloignement proportionnelle à cet éloignement. En étudiant les galaxies proches, [Edwin Hubble](#) s'est aperçu que la vitesse d'éloignement d'une galaxie est proportionnelle à sa distance par rapport à l'observateur ([loi de Hubble](#)) ; une telle loi est explicable par un Univers visible en [expansion](#). Bien que la [constante de Hubble](#) ait été révisée par le passé dans d'importantes proportions (dans un rapport de 10 à 1), la loi de Hubble a été extrapolée aux galaxies éloignées, pour lesquelles la distance ne peut être calculée au moyen de la [parallaxe](#) ; cette loi est ainsi utilisée pour déterminer la distance des galaxies les plus éloignées.

En extrapolant l'[expansion de l'Univers](#) dans le passé, on arrive à une époque où celui-ci a dû être beaucoup plus chaud et beaucoup plus dense qu'aujourd'hui. Ce

modèle d'expansion, imaginé par [Georges Lemaître¹¹](#), chanoine catholique belge, est connu sous le nom de [Big Bang](#). Il est un élément essentiel de l'actuel [modèle standard de la cosmologie](#). La description du début de l'[histoire de l'Univers](#), telle qu'elle est connue, par ce modèle ne commence cependant qu'après qu'il est sorti d'une période appelée [ère de Planck](#), durant laquelle l'échelle d'énergie de l'Univers était si grande que le [modèle standard](#) n'est pas en mesure de décrire les [phénomènes quantiques](#) qui s'y sont déroulés. Durant cette époque, seule une théorie de la [gravitation quantique](#) pourrait expliquer le comportement [microscopique](#) de la [matière](#) sous l'influence importante de la [gravité](#), mais les physiciens ne disposent pas encore (en 2015) d'une telle théorie. Pour des raisons de cohérence avec les observations, après l'[ère de Planck](#), le modèle du [Big Bang](#) privilégie aujourd'hui l'existence d'une phase d'[inflation cosmique](#), très brève mais durant laquelle l'Univers aurait grandi de façon extrêmement rapide.

À la suite de cette phase, l'essentiel des [particules](#) de l'Univers aurait été créé à une haute température, enclenchant un grand nombre de processus importants, comme la [nucléosynthèse primordiale](#) ou la [baryogénèse](#), qui ont finalement abouti à l'émission d'une grande quantité de [lumière](#), appelée [fond diffus cosmologique](#). Ce dernier peut être aujourd'hui observé avec une grande précision par des instruments ([ballons-sondes](#), [sondes spatiales](#), [radiotélescopes](#)). L'observation de ce [rayonnement fossile micro-onde](#), remarquablement uniforme dans toutes les directions, constitue aujourd'hui l'élément capital qui assoit le modèle du Big Bang comme description correcte de l'Univers dans son passé lointain. De nombreux éléments du modèle restent encore à déterminer (par exemple, le modèle décrivant la phase d'inflation), mais il y a aujourd'hui [consensus](#) de la [communauté scientifique](#) autour du modèle du Big Bang.

Dans le cadre du [modèle \$\Lambda\$ CDM](#), les contraintes issues des observations de la sonde [WMAP¹²](#) sur les [paramètres cosmologiques](#) indiquent une valeur la plus probable pour l'[âge de l'Univers](#) à environ 13,82 milliards d'années¹³ avec une incertitude de 0,02 milliard d'années, ce qui est en accord avec les données indépendantes issues de l'observation des [amas globulaires¹⁴](#) ainsi que celle des [naines blanches¹⁵](#). Cet âge a été confirmé en 2013 par les observations du [téléscope spatial Planck](#).

Taille et Univers observable

Article détaillé : [Univers observable](#).

À ce jour, aucune donnée scientifique ne permet de dire si l'Univers est fini ou [infini](#). Certains théoriciens penchent pour un Univers infini, d'autres pour un Univers fini mais non borné. Un exemple d'Univers fini et non borné serait l'espace se refermant sur lui-même. Si on partait tout droit dans cet Univers, après un trajet, très long certes, il serait possible de repasser à proximité de son point de départ.

Les articles populaires et professionnels de recherche en [cosmologie](#) emploient souvent le terme « Univers » dans le sens d'« [Univers observable](#) ». L'[être humain](#) vit au centre de l'Univers observable, ce qui est en contradiction apparente avec le [principe de Copernic](#) qui dit que l'Univers est plus ou moins uniforme et ne possède aucun centre en particulier. Le paradoxe se résout simplement en tenant compte du fait que la lumière se déplace à la même vitesse dans toutes les directions et que sa [vitesse](#) n'est pas infinie : regarder au loin revient à regarder un événement décalé dans le passé du temps qu'il a fallu à la lumière pour parcourir la distance séparant l'observateur du phénomène observé. Or il ne nous est pas possible de voir de phénomène issu d'avant le [Big Bang](#). Ainsi, les limites de l'[Univers observable](#) correspondent au lieu le plus lointain de l'Univers pour lesquelles la lumière a mis moins de 13,82 milliards d'années à parvenir à l'observateur, ce qui le place inmanquablement au centre de son Univers observable. On appelle « [horizon cosmologique](#) » la première lumière émise par le Big Bang il y a 13,82 milliards d'années.

On estime que le diamètre de cet Univers observable est de 100 milliards d'années lumière¹⁶. Celui-ci contient environ 7×10^{22} étoiles, réparties dans environ 100 milliards de galaxies, elles-mêmes organisées en [amas](#) et [superamas](#) de galaxies¹⁶. Mais le nombre de galaxies pourrait être encore plus grand, selon le [champ profond](#) observé avec le [téléscope spatial Hubble](#). Quant au nombre d'[atomes](#) contenus dans l'univers, il est estimé à environ 10^{80} .

Il est cependant possible que l'Univers observable ne soit qu'une infime partie d'un Univers réel beaucoup plus grand.

L'Univers ne peut pas posséder de « bord » au sens intuitif du terme. En effet, l'existence de bord impliquerait l'existence d'un extérieur à l'Univers. Or, par définition, l'Univers est l'ensemble de tout ce qui existe, il ne peut donc rien exister à l'extérieur. Toutefois, cela ne signifie pas que l'Univers est infini, il peut être fini sans avoir de « bord », sans avoir en fait d'extérieur.

Les observations, notamment celles du satellite [Cosmic Background Explorer](#) et de la sonde [Wilkinson Microwave Anisotropy Probe](#), et les cartes produites par le satellite [Planck](#) suggèrent que l'Univers a une étendue infinie et un âge fini, comme le décrivent les [modèles de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker](#)^{17,18,19,20}.

Arguments en faveur d'un Univers fini

Un Univers infini pose la question de la compatibilité avec le principe de la [conservation de l'énergie](#). En effet, la définition même de l'Univers en fait un [système isolé](#) (car si l'univers U1 pouvait transférer de l'énergie avec un autre système S1, alors l'univers réel serait $U2 = U1 + S1$). Or dans un système isolé, il ne peut pas y avoir de création d'énergie^[réf. souhaitée].

Forme

Articles détaillés : [Forme de l'Univers](#) et [Courbure spatiale](#).

Une importante question de cosmologie porte sur la [forme de l'Univers](#). Il peut être « plat », c'est-à-dire que le [théorème de Pythagore](#) pour les [triangles](#) droits y est valide à de plus grandes échelles. Actuellement, la plupart des [cosmologues](#) pensent que l'Univers observable est (presque) plat²¹. Ou bien il est [simplement connexe](#) ; selon le [modèle standard du Big Bang](#) , l'Univers n'a aucune frontière spatiale, mais peut être de taille finie.

En 2013, il est prouvé que l'Univers est plat avec une marge d'erreur de seulement 0,4 %. Cela donne à penser que l'Univers est infini en étendue²². Cependant, du fait que la [vitesse de la lumière](#) soit également finie et constante dans le vide, l'âge fini de l'Univers implique que seulement un volume fini de l'Univers ne soit accessible à l'observation directe depuis la Terre ; on parle alors de l'[Univers observable](#). Tout ce que nous pouvons vraiment conclure est que **l'Univers est beaucoup plus grand que le volume que nous pouvons**

observer directement²³.

Composition de l'Univers

Au niveau macroscopique

Article détaillé : [Structures à grande échelle de l'Univers](#).

De manière macroscopique, l'Univers est composé de nombreux [corps célestes](#)²⁴, parmi lesquelles se trouvent des [planètes](#) (comme la [Terre](#)), des [comètes](#), des [astéroïdes](#), mais aussi de [satellites naturels](#) (comme la [lune](#)), d'[exoplanètes](#), etc. Ces corps célestes se structurent en plusieurs éléments, du plus petit au plus grand^{25,26} :

- [système planétaire](#) ;
- [nuage interstellaire](#) ;
- [galaxie](#) ;
- [groupe de galaxies](#) ;
- [superamas de galaxies](#) ;
- [Univers observable](#).

 [Situation de la Terre dans l'Univers](#)



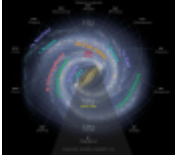
[Planète Terre](#)



[Système solaire](#)



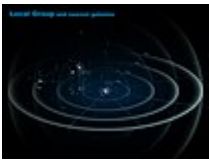
[Ceinture de Gould](#)



[Bras d'Orion](#)



[Voie Lactée](#)



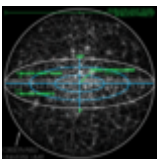
[Groupe local](#)



[Superamas de la Vierge](#)



[Laniakea](#)



[Univers observable](#)

Au niveau microscopique

On ne connaît pas exactement la composition de l'Univers. Hormis le [vide](#), plusieurs éléments, pour la plupart, encore jamais observés, sont conjecturés.

Énergie noire

Article détaillé : [Énergie noire](#).

L'[énergie noire](#) est une forme d'[énergie](#) hypothétique qui serait une des principales force de l'Univers. Malgré sa densité très faible, elle composerait une grande partie de la [matière](#) de l'Univers. Sa présence permettrait d'expliquer l'[expansion de l'Univers](#)²⁷.

Matière noire

Article détaillé : [Matière noire](#).

La [matière noire](#) est une [matière](#) hypothétique, présente en grande quantité dans l'Univers, supposée justifier de la masse de certaines [galaxies](#) entre autres. Même si plusieurs observations et calculs font état d'une matière inconnue, aucune preuve ne vient, pour l'instant, étayer son existence. Aujourd'hui, la présence de la matière noire dans l'Univers est régulièrement remise en question²⁸.

Matière baryonique

Article détaillé : [Matière baryonique](#).

La [matière baryonique](#), par opposition à la matière non baryonique, est un type de [matière](#) commune, qui comprend toute la matière composée de [particules composites](#) appelées [baryons](#). De même que pour la matière noire, un des plus grands enjeux de la [cosmologie](#) est de comprendre sa répartition dans l'Univers²⁹.

Particules

Articles détaillés : [Physique des particules](#) et [Physique quantique](#).

La matière ordinaire et les forces qui agissent sur elle peuvent être décrites par les [particules élémentaires](#). La [physique des particules](#) est la branche de la [physique](#) générale qui se penche sur les questions attenantes à la composition

de la matière. Plus spécifiquement, cette discipline s'attelle à étudier les plus petits éléments de la matière et l'interaction entre les particules élémentaires³⁰. Cette branche se rapproche de la [physique quantique](#), qui, elle, se focalise à comprendre les mécaniques et les lois qui régissent l'[infiniment petit](#)³¹, par opposition aux lois de la [relativité générale](#) et [restreinte](#).

Avenir

Article détaillé : [Destin de l'Univers](#).

Selon les prédictions du [modèle cosmologique](#) le plus couramment admis de nos jours, les « objets galactiques » auront une fin : c'est la [mort thermique de l'Univers](#). **Le Soleil, par exemple, s'éteindra dans 5 à 7 milliards d'années**, lorsqu'il aura consumé tout son combustible. À terme, les autres étoiles évolueront elles aussi dans des cataclysmes cosmologiques ([explosions](#), effondrements). Déjà les naissances d'étoiles ralentissent³² faute de matière, qui se raréfie au fil du temps. Dans **20 milliards d'années environ, aucun astre ne s'allumera plus**. L'Univers sera peuplé d'étoiles éteintes ([étoiles à neutrons](#), [naines blanches](#), [trous noirs](#)) et des [naines rouges](#) résiduelles. À bien plus longues échéances, les galaxies se désagrégeront dans des collisions géantes par leurs [interactions gravitationnelles](#) internes et externes³³.

En ce qui concerne le contenant (« l'espace »), une hypothèse est que le processus d'expansion sera [gravitationnellement](#) ralenti et s'inversera selon le scénario du [Big Crunch](#)³⁴. Selon l'hypothèse inverse, l'expansion, qui semble à présent stagner, ne s'arrêtera jamais totalement. Peu à peu, les astres éteints s'agglutineront en [trous noirs](#). L'Univers, sans aucune structure, ne sera plus qu'un bain de [photons](#) de plus en plus froids³⁵. Toute activité dans l'Univers s'éteindra ainsi à jamais : c'est le [Big Chill](#). Un scénario similaire existe : le [Big Chill modifié](#). La gravitation et l'énergie noire restent constantes mais ont tendance à accélérer. L'Univers subira le Grand Refroidissement mais l'expansion continuera d'une façon stable et toute activité cessera. Les galaxies fusionneront puis mourront peu à peu. Si au contraire la quantité d'[énergie sombre](#) croît, l'Univers continuera son expansion à une vitesse toujours plus grande pour exploser à toutes les échelles : toute la matière qui le compose (y compris les [atomes](#)) se déchirera par dilatation de l'espace et le temps lui-même sera détruit. C'est le [Big Rip](#) (littéralement : « grand déchirement »). Certains modèles

prévoient une telle fin dans 22 milliards d'années.

Chacun de ces scénarios dépend donc de la quantité d'énergie sombre que contiendra l'Univers à un moment donné. Actuellement, l'état des connaissances suggère non seulement qu'il y a insuffisamment de masse et d'énergie pour provoquer ce *Big Rip*, mais que l'[expansion de l'Univers semble s'accélérer](#) et continuera donc pour toujours³⁶.



Carte logarithmique de l'Univers observable avec certains des objets astronomiques notables connus aujourd'hui. Les corps célestes apparaissent avec leur taille agrandie pour pouvoir apprécier leurs formes.

Notes et références

- [[] [↑](#) (en) « [NASA WMAP What is the universe made of ? \[archive\]](#) ».
- [[] [↑](#) [Werner Jaeger](#), *Aristote, Fondements pour une histoire de son évolution*, L'Éclat, 1997, p. 154.
- [[] [↑](#) À notre connaissance, un seul autre savant de l'Antiquité est alors de cet avis, [Séleucos de Séleucie](#).
- [[] [↑](#) [Revenir plus haut en :a](#) et [b](#) [Gerald J. Toomer](#), « Astronomie », dans [Jacques Brunschwig](#) et Geoffrey Lloyd, *Le Savoir grec*, Flammarion, 1996, p. 307-308.
- [[] [↑](#) (en) [Otto Neugebauer](#), *A history of ancient mathematical astronomy*, Berlin ; New York : Springer-Verlag, 1975, p. 634 ss. Aristarque ne donne pas le résultat de ses calculs, mais de ses données (diamètre apparent angulaire de la Lune : 2e ; diamètre de la Lune : 1/3 du diamètre terrestre), on peut déduire une distance Terre-Lune de 40 [rayons terrestres](#) environ, contre 60,2 en réalité. Mais Neugebauer estime que c'est un angle de 1/2° et non de 2e qu'Aristarque tenait pour correct, ce qui aboutirait à 80 rayons terrestres pour la distance Terre-Lune.

Voir [Aristarque](#).

6. ↑ (en) [Otto Neugebauer](#), *A history of ancient mathematical astronomy*, Berlin ; New York : Springer-Verlag, 1975, p. 634 ss..
7. ↑ Voir [Des grandeurs et des distances du Soleil et de la Lune](#).
8. ↑ [G. E. R. Lloyd](#) (en), « Observation et Recherche » dans [Jacques Brunschwig](#) et Geoffrey Lloyd, *Le Savoir grec*, Flammarion, 1996, p. 265.
9. ↑ (la) Lucrèce, *De Rerum Natura* [« De la nature des choses »], Paris, Les Belles lettres, 1924, 324 p., p. 40-41 (vers 958 - 968).
10. ↑ Voir [Sciences grecques](#).
11. ↑ [Georges Lemaître](#), « [Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant tenant compte de la vitesse radiale des nébuleuses galactiques étrangères](#) [archive] », *Annales de la société scientifique de Bruxelles*, tome 47A, 1927, p. 49-59 (archives de l'[Université catholique de Louvain](#)).
12. ↑ Lancée par la [NASA](#).
13. ↑ (en) D.N. Spergel *et al.*, *Wilkinson microwave anisotropy probe (wmap) three year results : implications for cosmology*. [archive] soumis à *Astrophys. J.*, prépublication disponible sur la base de données [arXiv](#).
14. ↑ (en) Chaboyer, B. & Krauss, *Theoretical Uncertainties in the Subgiant-Mass Age Relation and the Absolute Age of Omega Cen* [archive] L. M. 2002, *The Astrophysical Journal*, 567, L45.
15. ↑ (en) Brad M. S. Hansen *et al.*, « *HST Observations of the White Dwarf Cooling Sequence of M4* », *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 155, no 2, décembre 2004, p. 551-576 ([ISSN 0067-0049](#) et [1538-4365](#), [DOI 10.1086/424832](#), [résumé](#) [archive], [lire en ligne](#) [archive]).
16. ↑ [Revenir plus haut en:a](#) et [b](#) Science-et-Vie Hors-Série no 242, mars 2008. *L'Univers en chiffres*.
17. ↑ (en) « [WMAP- Shape of the Universe](#) [archive] », sur [map.gsfc.nasa.gov](#) (consulté le 14 février 2023).
18. ↑ (en) [Jean-Pierre Luminet](#), Jeffrey R. Weeks, [Alain Riazuelo](#) et [Roland Lehoucq](#), « *Dodecahedral space topology as an explanation for weak wide-angle temperature correlations in the cosmic microwave background* », *Nature*, vol. 425, no 6958, octobre 2003, p. 593-595 ([ISSN 0028-0836](#) et [1476-4687](#), [DOI 10.1038/nature01944](#)).
19. ↑ (en) Boudewijn Roukema, Zbigniew Buliński, Agnieszka Szaniewska et

- Nicolas E. Gaudin, « *A test of the Poincare dodecahedral space topology hypothesis with the WMAP CMB data* », [*Astronomy & Astrophysics*](#), vol. 482, no 3, 2008, p. 747-53 (ISSN 0004-6361, DOI 10.1051/0004-6361:20078777, Bibcode 2008A&A...482..747L, arXiv 0801.0006, S2CID 1616362)
20. ↑ (en) Ralf Aurich, Lustig, S., Steiner, F. et Then, H., « *Hyperbolic Universes with a Horned Topology and the CMB Anisotropy* », [*Classical and Quantum Gravity*](#), vol. 21, no 21, 2004, p. 4901-26 (DOI 10.1088/0264-9381/21/21/010, Bibcode 2004CQGra..21.4901A, arXiv astro-ph/0403597, S2CID 17619026).
 21. ↑ (en) [*Shape of the Universe*](#) [archive].
 22. ↑ « [*WMAP- Shape of the Universe*](#) [archive] », sur map.gsfc.nasa.gov, NASA (consulté le 6 septembre 2021).
 23. ↑ « [*WMAP- Shape of the Universe*](#) [archive] », sur map.gsfc.nasa.gov (consulté le 5 janvier 2017).
 24. ↑ Nathalie Mayer, « [*Quelle est la structure de l'univers ?*](#) [archive] », sur Futura (consulté le 6 septembre 2021)
 25. ↑ « [*Lumière sur les différentes structures de l'Univers*](#) [archive] », sur Trust My Science, 7 mars 2016 (consulté le 6 septembre 2021)
 26. ↑ « [*Univers*](#) [archive] », sur [Encyclopædia Universalis](#) (consulté le 6 septembre 2021)
 27. ↑ « [*Dark Matter Day : qu'est-ce que la matière noire et l'énergie noire ?*](#) [archive] », sur [Sciences et Avenir](#) (consulté le 6 septembre 2021).
 28. ↑ Laurent Sacco, « [*Matière noire : Hubble suggère qu'il faut revoir la copie*](#) [archive] », sur Futura (consulté le 6 septembre 2021).
 29. ↑ Olivier Esslinger, « [*La nature de la matière noire baryonique*](#) [archive] », sur [Astronomie et Astrophysique](#) (consulté le 6 septembre 2021)
 30. ↑ « [*Physique*](#) [archive] », sur [CERN](#) (consulté le 6 septembre 2021)
 31. ↑ « [*Physique quantique*](#) [archive] », sur [Futura](#) (consulté le 6 septembre 2021).
 32. ↑ Actuellement, l'observation de notre galaxie dénombre la naissance d'une ou deux étoiles par an.
 33. ↑ [Jean-Pierre Luminet](#), astrophysicien, CNRS, Observatoire de Paris-Meudon, in [*Sciences & Avenir*](#) no 729, novembre 2007.
 34. ↑ Littéralement : « grand écrasement ».
 35. ↑ D'après une théorie de [Stephen Hawking](#) (dans son livre *Une brève histoire du temps*), si l'Univers continue indéfiniment à s'étendre, les particules issues d'explosions successives ne seront plus assez proches les unes des autres pour recréer des étoiles après leur explosion et

l'expansion s'arrêtera.

36. (en-US) *Fate of the Universe* [[archive](#)].

Voir aussi

Sur les autres projets Wikimedia :

- [Univers](#), sur Wikimedia Commons
- [univers](#), sur le Wiktionnaire ([thésaurus](#))
- [Univers](#), sur le Wiktionnaire
- [Univers](#), sur Wikibooks
- [Univers](#), sur Wikisource
- [Univers](#), sur Wikiquote

Bibliographie

- [Carl Sagan](#), *Cosmos*, [Éditions Mazarine](#), 1981, 366 p. ([ISBN 978-2-86374-075-0](#)).
- Charles Mugler, « *L'infini cosmologique chez les Grecs et chez nous* », *Lettres d'Humanité*, n^o 8, décembre 1949, p. 43-66 ([lire en ligne](#) [[archive](#)], consulté le 28 janvier 2020).

Articles connexes

[[modifier](#) | [modifier le code](#)]



Une [catégorie](#) est consacrée à ce sujet : [Univers](#).

- [Voie lactée](#)
- [Monde \(univers\)](#)
- [Radiotélescope](#)
- [Observatoire astronomique](#)
- [Théorie d'Everett](#)
- [Table des constantes astrophysiques](#)
- [Densité critique](#)

- [Tout](#)
- [Théorie du tout](#)
- [Universaux](#)
- [Big History](#)
- [Multivers](#)

-  [Portail de l'astronomie](#)

- La dernière modification de cette page a été faite le 23 novembre 2024 à 01:32.
- [Droit d'auteur](#) : les textes sont disponibles sous [licence Creative Commons attribution, partage dans les mêmes conditions](#) ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les [conditions d'utilisation](#) pour plus de détails, ainsi que les [crédits graphiques](#). En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez [comment citer les auteurs et mentionner la licence](#).
Wikipedia® est une marque déposée

source : wikipedia

photo : pixabay