



Univers observable

62 langues

Article [Discussion](#) Lire [Modifier](#) [Modifier le code](#) [Voir l'historique](#) [Outils](#)

L'**Univers observable** est, en [cosmologie](#), la partie visible de notre [Univers](#). Il est donc une [boule](#) dont la limite est située à l'[horizon cosmologique](#) et dont la [Terre](#) constitue le centre. Il s'agit nécessairement d'une notion relative : d'autres observateurs, situés ailleurs dans l'Univers, n'ont pas la même boule observable, mais une autre, similaire et de même rayon, située ailleurs.

Du fait que notre Univers a un [âge fini](#), d'environ 13,8 milliards d'années, la lumière des [objets célestes](#) situés au-delà de l'horizon n'a pas eu le temps de parvenir jusqu'à nous et ces objets sont donc encore invisibles ; néanmoins, l'Univers observable s'agrandit mécaniquement au cours du temps : son rayon est une seconde-lumière plus grand chaque seconde et une [année-lumière](#) plus grand chaque année, indépendamment de l'[expansion de l'Univers](#).

Les objets les plus éloignés de l'Univers observable sont également ceux qui peuvent être observés dans leur état le plus primordial, le plus proche du [Big Bang](#), car ce sont ceux dont la lumière a mis le plus de temps à parvenir à l'observateur. Ils sont également perçus avec un [décalage vers le rouge](#) d'autant plus grand qu'ils sont éloignés.

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

L'Univers observable est défini comme tout ce qui est observable et mesurable, et la [vitesse de la lumière](#) étant la [vitesse limite](#), tout ce qui est situé au-delà de l'[horizon cosmologique](#) ne peut être observé ni ne peut influencer ce qui peut être observé. Le [principe cosmologique](#), ainsi désigné à la suite d'[Edward A. Milne](#) (1896-1950), énonce que l'Univers observable est, à grande échelle, [homogène](#) et [isotrope](#). L'Univers étant globalement identique dans toutes les directions, les rayons lumineux provenant de toutes les directions parcourent a priori la même distance dans le même temps. L'Univers observable à un instant donné est donc une [boule](#) dont l'observateur est le centre et dont le [rayon](#) est la distance parcourue par un signal lumineux pendant le [temps d'existence de l'Univers](#) à cet instant¹.

En pratique, l'Univers observable s'est [longtemps](#) réduit à l'univers visible à l'[œil nu](#). Il est à présent limité par la [surface de dernière diffusion](#) qui peut

être définie, en première approximation, comme la région de l'espace d'où a été émis, environ 380 000 ans après le Big Bang, le rayonnement électromagnétique observé aujourd'hui, le fond diffus cosmologique. Son anisotropie a été cartographiée par COBE, WMAP puis *Planck*. Le fond cosmologique de neutrinos, prédit dès 1953² par Ralph Alpher, James Follin et Robert Herman³, n'a pas été détecté. Quant au fond cosmologique d'ondes gravitationnelles, sa détection par la collaboration BICEP2⁴, annoncée le 17 mars 2014⁵, est contestée^{6,7,8}. D'autre part, certaines régions de l'Univers observable ne sont pas visibles. Il s'agit des régions situées au-delà de l'horizon des trous noirs astrophysiques tels que les trous noirs stellaires, résultant de l'effondrement gravitationnel d'étoiles massives, ou les trous noirs supermassifs, situés au centre de galaxies.



Représentation à l'échelle logarithmique de l'Univers observable comprenant, au centre, le Système solaire, et au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre, les étoiles proches, le bras de Persée, la Voie lactée, les galaxies proches, le réseau des structures à grande échelle, le fond diffus cosmologique et, à la périphérie, le plasma invisible du Big Bang.

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

Ce que l'on peut observer et mesurer de l'Univers en est une image, et non l'Univers tel qu'il existe au moment où il est observé. Cette image est sensiblement différente du présent, du fait que la lumière se propage à vitesse finie, et de surcroît dans un Univers en expansion, ce qui s'accompagne de certains effets :

- l'Univers observable paraît fini alors que l'Univers est au moins beaucoup plus vaste et potentiellement infini ;
- la lumière reçue des objets les plus lointains est décalée vers le rouge et devient de moins en moins visible et énergétique à mesure que l'objet est

maintien. C'est une autre raison de la finitude de l'Univers observable ; les objets astronomiques apparaissent d'autant plus jeunes (par rapport au Big Bang) qu'ils sont éloignés ;

- la distance de l'objet à l'observateur au moment où sa lumière a été émise et sa distance au moment où la lumière est reçue par celui-ci peuvent être très différentes. De plus, du fait de l'expansion de l'Univers, certains objets qui se trouvaient plus proches de l'observateur que d'autres lors de l'émission de la lumière paraissent à la réception en ordre inversé et plus éloignés [pourquoi ?]. À l'extrême, la position de la zone ayant émis le **fond diffus cosmologique** actuellement observable était relativement proche (environ 40 millions d'années-lumière), bien plus proche que d'autres objets observables actuellement, qui étaient plus éloignés au moment de l'émission de leur lumière [réf. nécessaire].

Finitude et évolution du rayon [modifier | modifier le code]

En tant que **boule** de rayon fini, l'Univers observable occupe un **volume** fini⁹ dans le temps et dans l'espace. Sa finitude résulte de ce que l'Univers a un **âge fini** et que la lumière se propage dans le vide à **une vitesse finie**. Ce volume ne représente qu'une fraction de l'Univers dans son ensemble, qui est potentiellement infini si **sa courbure** est nulle ou négative. Les mesures du fond diffus cosmologique montrent que la courbure spatiale de l'Univers est très faible ou nulle et suggèrent que l'Univers observable ne représente qu'au plus 2 % de l'Univers¹⁰.

Le rayon de l'Univers observable s'agrandit continûment, du fait conjugué de l'**expansion de l'Univers** et de la vitesse de la lumière. Mais les distances aux objets s'accroissent également du fait de l'expansion. Le taux d'accroissement du rayon de l'**horizon cosmologique** est de ^{MBC 1} :

$$\frac{dH_p}{dt} = H_p(z)H(z) + c$$

avec $H_p(z)$ la distance de l'**horizon cosmologique** (ou **horizon des particules**, d'où H_p) au **temps de regard vers le passé** défini par le **décalage vers le rouge** z , $H(z)$ la **constante de Hubble** à ce même temps, et c la **vitesse de la lumière**. La formule est une fonction de z et non de t étant donné les difficultés à connaître le temps de regard vers le passé en fonction de z .

$H_p(z)H(z)$ étant la **vitesse de récession** des objets situés sur l'horizon cosmologique, on déduit de cette formule que chaque seconde de temps qui s'écoule nous fait découvrir une profondeur d'espace nouvelle de 300 000 kilomètres au-delà des objets s'éloignant le plus rapidement, et de nouveaux objets entrent donc constamment dans l'Univers observable pour ne plus

jamais en sortir ^{MBC 1}. Aujourd'hui, les objets les plus lointains s'éloignent à
 vitesse de **3,409c** et le rayon de l'Univers observable de **4,409c** ^{MBC 2}, et à la
 fin des temps les objets les plus lointains s'éloigneront à une vitesse tendant
 vers l'infini, mais le rayon de l'Univers observable les devancera toujours avec
 une vitesse **c**.

Taux d'accroissement de l'Univers observable à différentes époques cosmologiques ^{MBC 2}

Destin de l'univers	z Décalage vers le rouge	t Temps de regard vers le passé	$\Omega_m(z)$ Densité de matière	$\Omega_\Lambda(z)$ Densité d'énergie	$H_p(z)$ Rayon de l'Univers observable	$\frac{dH_p}{dt}$ Taux d'accroissement du rayon
Origine de l'Univers	∞	0	1	0	0	3c
Temps présent	0	t_0	0,278	0,722	$\frac{2,672c}{H_0 \sqrt{\Omega_{\Lambda 0}}}$	4,409c
Fin des temps	-1	∞	0	1	∞	$\infty(+c)$

Il serait scientifiquement inconséquent d'ignorer la partie non observable de l'Univers sous prétexte que nous ne pouvons pas la voir. C'est toute la force des [modèles théoriques](#) de pouvoir appréhender l'Univers dans son ensemble alors que nous ne pouvons en voir qu'une partie. En effet, d'une part la position de l'observateur dans l'Univers n'a pas de conséquence particulière sur l'observation. Le [principe copernicien](#), ainsi désigné en l'honneur de [Nicolas Copernic](#) (1473-1543) et selon lequel la [Terre](#) n'occupe pas de position privilégiée dans le [Système solaire](#), a été confirmé et étendu au [Soleil](#), dès 1609, par [Johannes Kepler](#) (1571-1630), puis généralisé, dès 1697, par [Isaac Newton](#) (1643-1727). Le résultat est le [principe de médiocrité](#), ainsi désigné à la suite d'[Alexander Vilenkin](#)¹¹, selon lequel il n'existe, dans l'Univers observable, aucun point d'observation privilégié. D'autre part, le [principe cosmologique](#), ainsi désigné à la suite d'[Edward A. Milne](#) (1896-1950), qui énonce que l'Univers observable est, à grande échelle, [homogène](#) et [isotrope](#), assure que les parties non observées de l'Univers sont, au même [temps cosmique](#), probablement semblables à l'univers observé.

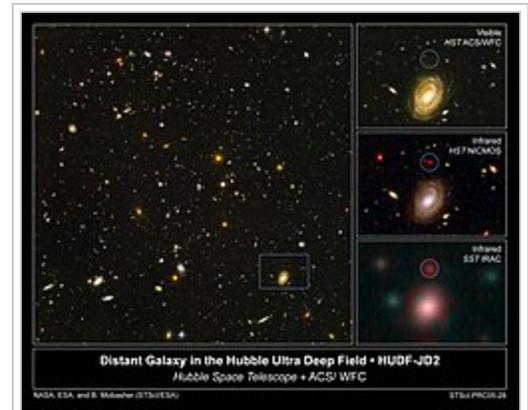
Les objets lointains de l'Univers observable n'apparaissent pas comme ils sont, au même **temps cosmique** que le moment de l'observation, mais comme ils étaient, au moment de l'émission de leur lumière. Plus les objets sont lointains, plus ils sont observés à un temps cosmique jeune ; l'objet astronomique qui apparaît aujourd'hui le plus lointain est le **quasar ULAS J134208.10+092838.61**, qui apparaît tel qu'il était 690 millions d'années après le Big Bang. Toutefois, au moment où il avait les caractéristiques aujourd'hui observées, ce n'était pas l'objet aujourd'hui observable le plus lointain de nous, loin de là.

L'appréciation de l'âge des objets observés par rapport au Big Bang n'est pas une chose facile et constitue la recherche du temps de regard vers le passé. Ce temps n'est pas directement observé et doit être déduit du **décalage vers le rouge** directement mesuré par rapport au décalage des **raies spectrales** du **spectre électromagnétique** de l'objet observé. La conversion de ce décalage en **temps cosmique** dépend du **modèle cosmologique** employé, ainsi que de la valeur de ses **paramètres**, qui sont souvent mal connus.

Distance à l'émission et à la réception [[modifier](#) | [modifier le code](#)]

Les objets astronomiques observés à de grands décalages vers le rouge sont, au même **temps cosmique** que l'observation, d'autant plus éloignés que leur décalage vers le rouge est grand. C'est la *distance à la réception* de la lumière, qui est plus grande que la vitesse de la lumière, multipliée par l'âge de l'objet, étant donné l'expansion de l'Univers. Nous ne pouvons pas savoir à quoi ressemblent ces objets à ce moment et à cette distance.

En revanche, nous voyons ces objets tels qu'ils étaient au moment de l'émission de leur lumière, où ils étaient à une distance plus proche de l'observateur, c'est la *distance à l'émission*. La distance à l'émission augmente avec le décalage vers le rouge pour les petits décalages, passe par une valeur maximale, puis diminue pour les grands décalages¹². Dans un univers modélisé selon une **métrique FLRW**, le décalage vers le rouge limite, après lequel la distance à l'émission diminue est de $z = 5/4 = 1,25$, représentant une distance d'à peu près 5 milliards d'années-lumière¹². Autrement dit, nous ne pouvons pas observer des objets qui étaient à plus de 5 milliards d'années-lumière de nous, au moment où



HUDF-JD2, **galaxie primordiale** mise en évidence dans le cercle situé sur les trois agrandissements à droite de l'image. Son décalage vers le rouge est d'environ $z = 6,5$, donnant un temps de regard vers le passé de 850 millions d'années après le Big Bang.

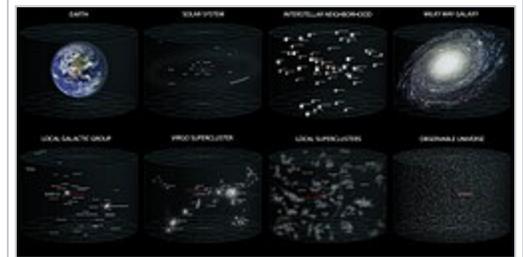
ils étaient tels qu'ils apparaissent aujourd'hui. Le [fond diffus cosmologique](#) est en fait à un décalage vers le rouge très élevé, la partie de l'espace qui a généré ces photons était particulièrement proche de nous au moment de l'émission : environ 40 millions d'années-lumière.

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

L'[âge de l'Univers](#) est estimé, en juin 2014, à environ 13,8 milliards d'années ($(13,798 \pm 0,037) \times 10^9$ ans¹³). La lumière émise par un astre ne peut pas avoir voyagé plus de 13,8 milliards d'années. Par conséquent, la lumière issue des objets les plus éloignés que nous puissions détecter, à la [limite de la partie observable](#) de notre Univers, aura mis 13,8 milliards d'années pour nous parvenir. Pendant ce temps, la lumière aura parcouru 13,8 milliards d'[années-lumière](#) et par conséquent, ce nombre fixe commodément la [distance comobile](#) de la partie observable de notre Univers.

C'est une autre question de savoir à quelle distance géométrique se situent actuellement les objets dont nous recevons la lumière, 13,8 milliards d'années après qu'ils l'ont émise. Pour déterminer cette distance, il faut adopter un [modèle d'univers](#) et connaissant la vitesse d'expansion de l'espace en déduire la distance dont se sera éloigné l'objet considéré depuis l'émission des [photons](#). Dans le cadre du [modèle standard de la cosmologie](#), la distance actuelle de l'[horizon cosmologique](#) est de l'ordre de 46,5 milliards d'années-lumière. Le [diamètre](#) de l'Univers observable est estimé à environ 93 milliards d'années-lumière soit $8,8 \times 10^{23}$ km ($8,8 \times 10^{26}$ m)^{14,15}, ou encore 880 000 milliards de milliards de kilomètres.

Nous ne pouvons donc pas observer les objets situés sur l'horizon cosmologique à sa distance actuelle. Nous ne pouvons théoriquement observer les objets que jusqu'à la distance du [fond diffus cosmologique](#), 380 000 ans après le [Big Bang](#), quand l'Univers s'est assez refroidi pour permettre aux électrons de se joindre aux [noyaux atomiques](#), ce qui a mené à l'arrêt de l'[effet Compton](#) des photons ambiants, permettant aux photons de survivre assez longtemps pour atteindre la [Terre](#). Toutefois, il serait théoriquement possible d'extraire des informations d'avant cette époque, grâce à la détection des [ondes gravitationnelles primordiales](#) ou des [neutrinos](#) « fossiles ». Ces derniers n'ont pas encore été



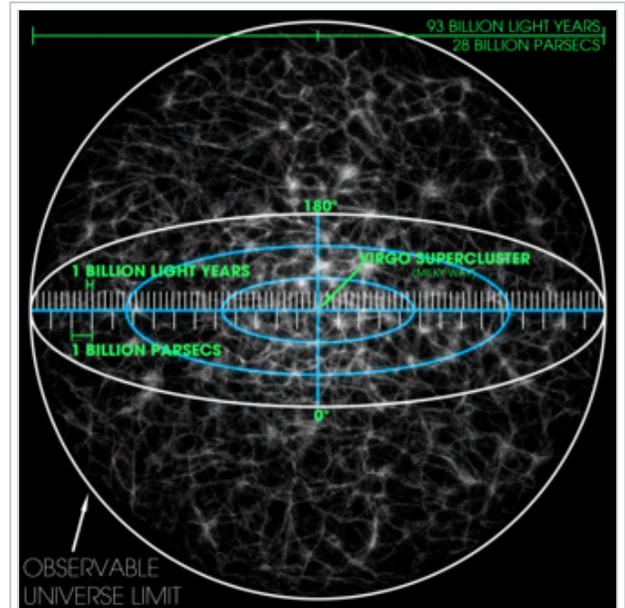
Positionnement de la [Terre](#) dans une série de huit cartes, à chaque fois sur une plus grande échelle, de gauche à droite et de haut en bas: la Terre, le [Système Solaire](#), le voisinage interstellaire, la [Voie lactée](#), le groupe local galactique, le [superamas de la Vierge](#), les superamas galactiques locaux, et l'univers visible

détectés et on cherche à mettre en évidence les ondes gravitationnelles du Big Bang, notamment par l'expérience BICEP, qui n'a pas donné de résultats concluants¹⁶.

Masse [modifier | modifier le code]

Voici trois façons d'estimer en ordre de grandeur l'équivalent, en quantité de matière, de l'énergie présente dans la partie observable de notre Univers. Elles conduisent à un nombre total d'atomes de l'ordre de 10^{80} en chiffres ronds¹⁷.

1. L'horizon de notre Univers est situé actuellement à environ 40 milliards d'années-lumière. Si l'on néglige les effets de courbure de l'espace, le volume de l'espace visible représente : $\frac{4}{3} \times \pi \times R^3 = 2 \times 10^{80} \text{ m}^3$. La densité critique de l'Univers, pour une constante de Hubble égale à 75 km/s/Mpc, est de : $3 \times H^2 / (8 \times \pi \times G) = 10^{-26} \text{ kg/m}^3$; soit environ cinq atomes d'hydrogène par mètre cube. En multipliant cela par le volume de la partie visible de l'Univers, on obtient 10^{81} atomes d'hydrogène, soit une masse de $1,7 \times 10^{54} \text{ kg}$.
2. Une étoile typique « pèse » environ $2 \times 10^{30} \text{ kg}$ (c'est la masse du Soleil), ce qui fait environ 10^{57} atomes d'hydrogène par étoile. Une galaxie typique pourrait contenir entre 100 milliards et 400 milliards d'étoiles¹⁸, chaque galaxie aurait donc en moyenne, selon un scénario « pessimiste », environ $1 \times 10^{57} \times 1 \times 10^{11} = 1 \times 10^{68}$ atomes d'hydrogène. Il y aurait entre 100 milliards et 200 milliards de galaxies dans la partie observable de notre Univers¹⁹, ce qui donne dans un scénario « pessimiste » $1 \times 10^{68} \times 100 \times 10^9 = 1 \times 10^{79}$ atomes d'hydrogène dans l'Univers, soit une masse de $1,7 \times 10^{52} \text{ kg}$.
3. Enfin une façon simple, plus rigoureuse et moins arbitraire est de faire les calculs à partir des équations de Friedmann. Une application numérique pouvant être considérée comme une bonne première approximation de la réalité donne une densité actuelle de $5 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$ pour un volume total



Visualisation de l'Univers observable en trois dimensions sur 93 milliards d'années-lumière (28 milliards de parsecs). L'échelle est telle que les légers grains de lumière représentent des regroupements de grands nombres de superamas. Le superamas de la Vierge où se trouve notre galaxie, la Voie lactée, est situé au centre, mais est trop petit pour être visible sur l'image.

de l'Univers de 10^{81} m³ dont nous ne verrions que 20 %. Ces nombres conduisent à 10^{54} kg de matière, c'est-à-dire à 5×10^{80} atomes, dans la partie observable de notre Univers.

Objets les plus distants [[modifier](#) | [modifier le code](#)]

À ce jour (juin 2024), la galaxie la plus lointaine découverte est [JADES-GS-z14-0](#), avec décalage vers le rouge de $14,32_{-0,20}^{+0,08}$, ce qui la situerait à 13,5 milliards d'années-lumière, et formée 290 millions d'années après le Big Bang²⁰.

Les autres galaxies les plus distantes observées à ce jour seraient :

- [GN-z11](#) dans la constellation de la [Grande Ourse](#), située à 13,4 milliards d'années-lumière, probablement formée juste 400 millions d'années après le Big Bang²¹.
- la galaxie [z8 GND 5296](#), dont la découverte a été annoncée le 23 octobre 2013, formée environ 700 millions d'années après le Big Bang^{22,23} ;
- la galaxie [MACS0647-JD](#), dont la découverte a été annoncée le 15 novembre 2012²⁴ ;
- la galaxie [UDFy-38135539](#), découverte en 2010, dont l'âge est estimé à environ 13,1 milliards d'années ;
- la galaxie [UDFj-39546284](#), découverte en 2011, dont l'âge est estimé à environ 13,2 milliards d'années ;
- les galaxies de l'amas galactique [Abell 2218](#), découvert en 2001, dont l'âge est estimé à environ 13 milliards d'années.

Notes et références [[modifier](#) | [modifier le code](#)]

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

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

- ↑ Edgard Gunzig, *Que faisiez-vous avant le Big Bang ?*, Paris, Odile Jacob, coll. « Sciences », mars 2008, 327 p., 22 cm (ISBN 978-2-7381-2057-1, OCLC 318824977, BNF 41254893, lire en ligne [archive]), p. 241 (lire en ligne [archive]).
- ↑ Julien Lesgourgues, « Invisible témoin du Big Bang », *La Recherche*, n^o 402, novembre 2006, p. 43 (lire en ligne [archive], consulté le 20 septembre 2014).
- ↑ (en) Ralph A. Alpher, James W. Follin Jr. et Robert C. Herman, « Physical Conditions in the Initial Stages of the Expanding Universe », *Physical Review*, 2^e série, vol. 92, n^o 6, 15 décembre 1953, p. 1347-1361 (OCLC 179596566, DOI 10.1103/PhysRev.92.1347).
- ↑ (en) P. A. R. Ade et al. (collaboration BICEP2), « Detection of B-Mode Polarization at Degree Angular Scales by BICEP2 », *Physical Review Letters*, vol. 112, n^o 24, juin 2014 (DOI 10.1103/PhysRevLett.112.241101, Bibcode 2014PhRvL.112x1101A, arXiv 1403.3985).

5. ↑ (en) Ron Cowen, « Telescope captures view of gravitational waves », *Nature*, vol. 507, n° 7492, 20 mars 2014, p. 281-283 ([lire en ligne](#) [[archive](#)] [[PDF](#)], consulté le 20 septembre 2014).
6. ↑ (en) Ron Cowen, « ‘No evidence for or against gravitational waves’ », *Nature News*, 29 mai 2014 ([lire en ligne](#) [[archive](#)], consulté le 20 septembre 2014).
7. ↑ (en) Michael J. Mortonson et Uroš Seljak, « A joint analysis of Planck and BICEP2 B modes including dust polarization uncertainty », *arXiv*, 22 mai 2014 (Bibcode 2014arXiv1405.5857M, arXiv 1405.5857, [lire en ligne](#) [[archive](#)] [[PDF](#)], consulté le 20 septembre 2014).
8. ↑ (en) Raphael Flauger, J. Colin Hill et David N. Spergel, « Toward an understanding of foreground emission in the BICEP2 region », *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* (en), n° 8, août 2014 (DOI 10.1088/1475-7516/2014/08/039, Bibcode 2014JCAP...08..039F, arXiv 1405.7351, [lire en ligne](#) [[archive](#)] [[PDF](#)], consulté le 20 septembre 2014).
9. ↑ Entrée « Univers », dans Richard Taillet, Pascal Febvre et Loïc Villain, *Dictionnaire de physique*, Bruxelles, De Boeck Université, 2009, 2^e éd., XII-741 p., 24 cm (ISBN 978-2-8041-0248-7, OCLC 632092205, BNF 42122945, [lire en ligne](#) [[archive](#)]), p. 567.
10. ↑ (en) Gorbunov, Rubakov, *Introduction to the Theory of the Early Universe*, World Scientific, 2011, p. 71.
11. ↑ (en) Alexander Vilenkin, « Predictions from quantum cosmology », *Physical Review Letters*, vol. 74, n° 6, 6 février 1995, p. 846-849 (DOI 10.1103/PhysRevLett.74.846, Bibcode 1995PhRvL..74..846V).
12. ↑ ^a et ^b (en) Edward Harrison, *Cosmology - The Science of the Universe*, Cambridge University Press 2000, 2^e édition, p. 444-446.
13. ↑ (en) Peter A. R. Ade et al. (collaboration Planck), « Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results », *arXiv*, 2014 (DOI 10.1051/0004, Bibcode 2013arXiv1303.5062P, [lire en ligne](#) [[archive](#)] [[PDF](#)], consulté le 19 octobre 2014).
14. ↑ (en) *Extra Dimensions in Space and Time* [[archive](#)] p. 27.
15. ↑ Gérard Villemin, « [Univers ses dimensions](#) [[archive](#)] » (consulté le 15 janvier 2018).
16. ↑ « [Les ondes du big-bang s'évaporent](#) [[archive](#)] », *Libération*.
17. ↑ Science-et-vie.com, « [Sait-on combien il y a d'atomes dans l'Univers ?](#) [[archive](#)] », sur *Science & Vie*, 7 août 2015 (consulté le 2 mai 2022).
18. ↑ (en) Elizabeth Howell, « [How Many Stars Are in the Milky Way?](#) [[archive](#)] », *Space.com*, mai 2014 (consulté le 23 mai 2016).
19. ↑ (en) Elizabeth Howell, « [How Many Galaxies Are There?](#) [[archive](#)] », *Space.com*, avril 2014 (consulté le 23 mai 2016).
20. ↑ « [Le télescope James-Webb détecte la plus lointaine des galaxies jamais découverte](#) [[archive](#)] », sur *lemonde.fr*, 30 mai 2024 (consulté le 14 juin 2024)
21. ↑ Ashley Morrow, « [Hubble Team Breaks Cosmic Distance Record](#) [[archive](#)] », sur *NASA* (consulté le 7 mars 2016).
22. ↑ (en) Dominik A. Riechers, « Astronomy: New distance record for galaxies », *Nature*, vol. 502, n° 7472, 24 octobre 2013, p. 459-460 (DOI 10.1038/502459a).

²³ ↑ (en) S. L. Finkelstein *et al.*, « A galaxy rapidly forming stars 700 million years after the Big Bang at redshift 7.51 », *Nature*, vol. 502, n^o 7472, 24 octobre 2013, p. 524-527 (DOI 10.1038/nature12657, Bibcode 2013Natur.502..524F, arXiv 1310.6031, lire en ligne [archive] [PDF], consulté le 29 septembre 2014).

Les coauteurs de l'article sont, outre S. L. Finkelstein : C. Papovich, M. Dickinson, M. Song, V. Tilvi, A. M. Koekemoer, K. D. Finkelstein, B. Mobasher, H. C. Ferguson, M. Giavalisco, N. Reddy, M. L. N. Ashby, A. Dekel, G. G. Fazio, A. Fontana, N. A. Grogin, J.-S. Huang, D. Kocevski, M. Rafelski, B. J. Weiner et S. P. Willner.

24. ↑ (en) Dan Coe, « Three strongly lensed images of a candidate $z \sim 11$ galaxy », *Astrophysical Journal*, vol. 762, n^o 1, janvier 2013, p. 32 (DOI 10.1088/0004-637X/762/1/32, Bibcode 2013ApJ...762...32C, arXiv 1211.3663, lire en ligne [archive], consulté le 29 septembre 2014).

Les coauteurs de l'article sont, outre Dan Coe : Adi Zitrin, Mauricio Carrasco, Xinwen Shu, Wei Zheng, Marc Postman, Larry Bradley, Anton Koekemoer, Rychard Bouwens, Tom Broadhurst, Anna Monna, Ole Host, Leonidas A. Moustakas, Holland Ford, John Moustakas, Arjen van der Wel, Megan Donahue, Steven A. Rodney, Narciso Benitez, Stephanie Jouvel, Stella Seitz, Daniel D. Kelson et Piero Rosati.

• (en) Berta Margalef-Bentabol, Juan Margalef-Bentabol et Jordi Cepa, « Evolution of the Cosmological Horizons in a Concordance Universe », *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2012, 21 décembre 2012 (DOI 10.1088/1475-7516/2012/12/035, arXiv 1302.1609, lire en ligne [archive]) :

1. ↑ a et b paragraphe 6.5.

2. ↑ a et b paragraphe 6.1.

Annexes [modifier | modifier le code]

Bibliographie [modifier | modifier le code]

- (en) P. A. R. Ade *et al.* (Collaboration Planck), « Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters », *arXiv*, mars 2013 (Bibcode 2013arXiv1303.5076P, arXiv 1303.5076, lire en ligne [archive] [PDF], consulté le 20 septembre 2014).
La version en ligne est celle révisée du 20 mars 2014.
- (en) Tamara M. Davis et Charles H. Lineweaver, « Expanding Confusion: common misconceptions of cosmological horizons and the superluminal expansion of the Universe », *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol. 21, n^o 1, 2004, p. 97-109 (DOI 10.1071/AS03040, Bibcode 2004PASA...21...97D, arXiv astro-ph/0310808, lire en ligne [archive] [PDF], consulté le 20 septembre 2014).
La version en ligne est celle révisée du 13 novembre 2003.

Voir aussi [modifier | modifier le code]

- Horizon des particules
- Saul Perlmutter

Liens externes [modifier | modifier le code]

- « Taille de l'Univers » [archive], Astronoo, 15 février 2015.

• «[Cartographie de l'univers : changement d'échelle](#) » [archive], *La Méthode Scientifique*, France Culture, le 25 août 2020.

- [vidéo] [France Culture](#), « [Étienne Klein : comprendre l'expansion de l'univers](#) [archive] », sur [YouTube](#), 26 juin 2021

v · m	Situation de la Terre dans l'Univers	[afficher]
v · m	Modèles cosmologiques	[afficher]

 Portail de la cosmologie	 Portail de l'astronomie
--	---

Catégories : [Univers](#) | [Cosmologie](#) [+]

La dernière modification de cette page a été faite le 20 juin 2025 à 17:10.

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 de la [Wikimedia Foundation, Inc.](#), organisation de bienfaisance régie par le paragraphe [501\(c\)\(3\)](#) du code fiscal des États-Unis.

[Politique de confidentialité](#) [À propos de Wikipédia](#) [Avertissements](#) [Contact](#) [Code de conduite](#)

[Développeurs](#) [Statistiques](#) [Déclaration sur les témoins \(cookies\)](#) [Version mobile](#)

