

L'expansion de l'Univers : vaste programme ! 1/3

écrit par Professeur Tetenlair | 7 avril 2025



Préambule : pour lire l'article en entier, ou pour n'en lire que certaines parties, clique sur ce qui te correspond dans le

sommaire ci-dessous. Tu y arriveras immédiatement.

- [Lire l'article en entier](#)
- [Introduction](#)
- [Découverte de l'expansion de l'Univers](#)
- [Bon, alors, c'est quoi l'expansion de l'Univers ?](#)
- [Comment se manifeste l'expansion de l'univers et comment le savons-nous ?](#)
- [Comment se manifeste cette expansion \(plus de détails\) ?](#)

INTRODUCTION

Ah là là, ami passionné. L'expansion de l'Univers : que de mystères, que de questions, mais aussi que d'émerveillements !

Univers, univers, est-ce que j'ai une gueule d'univers ?
Univers, certes, mais un ou plusieurs ?

La dernière étude de l'astrophysicien britannique Stephen Hawking portait sur les univers multiples. Un concept controversé, popularisé par la science-fiction, selon lequel notre univers ne serait qu'un parmi d'autres.

Stephen HAWKING
1942 - 2018



L'idée des univers multiples (multivers) émerge d'une théorie suggérant qu'à sa création, lors du Big Bang, le cosmos a subi une expansion fulgurante. Pendant cette période, toutes les régions de l'espace n'auraient pas évolué à la même vitesse, certaines s'arrêtant de s'étendre avant les autres, créant différents univers-bulles. Notre univers étant une de ces bulles. Notre Univers tout entier serait comme un îlot dérisoire dans un immense méta-monde infiniment vaste et infiniment diversifié. Pas mal, hein ?

L'idée d'univers multiples n'est cependant pas nouvelle. Anaximandre (VIème siècle avant J.-C.) y avait pensé en

premier en réfléchissant sur le concept d'apeiron, littéralement « l'illimité ». Anaximandre pensait à une multitude de mondes successifs définis par leurs rapports à la qualité, à l'espace et au temps.

Démocrite aussi, par exemple (Vème siècle avant J.-C.), considère que les mondes sont en nombre infini, naissent et se forment.

Au Moyen Âge et à l'âge classique, Nicolas de Cues (XVème siècle) imagine une pluralité de mondes dont les habitants se distingueraient par leur caractère propre. Giordano Bruno (1548-1600) évoque, dans des textes d'une extraordinaire audace et clairvoyance, les « grands et spacieux mondes infinis » tandis que son frère de pensée français, François Rabelais (1483 ?-1553), imagine des mondes co-existants, magiques ou mystiques, et inspirés des cent quatre-vingt-trois mondes du philosophe présocratique Petron d'Himère. En un sens très différent, Leibniz (1646-1716) pense des mondes multiples qui permettent de comprendre le nôtre comme le « meilleur » et d'introduire une forme de contingence au cœur de la définition des possibles.

Bon, tout ça pour te dire, que la notion de multivers est loin d'être récente, elle a traversé toute l'histoire de la philosophie, mais, par contre, elle entre depuis peu dans le champ de la physique théorique. De nombreux types d'univers multiples sont aujourd'hui envisageables, selon les astrophysiciens (Aurélien Barrau de Grenoble, Thomas Hertog de l'université KU Louvain en Belgique, entre autres), ce qui impliquerait des lois de la physique différentes.



Surtout ne t'affole pas, Berthe. Pour le présent article, nous nous limiteront à la cosmologie officielle d'aujourd'hui, c'est-à-dire plus au cadre d'une seul univers, le nôtre, dans lequel évoluent les objets plutôt que ces derniers eux-mêmes.

[revenir au sommaire](#)

DÉCOUVERTE DE L'EXPANSION DE L'UNIVERS

That is the questioooooonnnnn, ami passionné. Comment, mais comment donc, avons-nous découvert que l'Univers était en expansion permanente ?

En 1916 et 1917 des scientifiques (Slipher et Pease), en 1919, d'autres scientifiques (dont Shapley), en 1921 encore d'autres (Shapley, Heber, Curtis) ont procédé à différents travaux très importants sur l'expansion de l'Univers.



Puis en 1927, le scientifique belge Georges Lemaître a proposé un modèle théorique suggérant que l'Univers était en expansion, basé sur les équations de la relativité générale d'Albert Einstein. Ces travaux ont jeté les bases de la cosmologie moderne et de la théorie du Big Bang. Ton serviteur t'invite à lire, ou relire, l'article (en deux parties) qu'il a écrit sur RR à propos de ce très grand scientifique qu'était Georges Lemaître, article intitulé : « *Georges Lemaître : belge, prêtre catholique, et ultra grand savant astronomique* ». Pour cela, [clique ici](#).

Enfin, en bénéficiant de tous les travaux déjà réalisés et en y rajoutant les siens, très importants, le très célèbre Edwin Powell Hubble (1889-1953) démontre de façon irréfutable que l'Univers est en expansion permanente. Il accumule les observations spectroscopiques de nébuleuses de plus en plus faibles, et écrit un article le 15 mars 1929 dans lequel il énonce ce qui deviendra la loi de Hubble : **la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à leur distance**, estimée statistiquement d'après leur éclat apparent.

Donc Hubble en 1929 observe que les galaxies s'éloignent les unes des autres, ce qui a révélé que l'univers est en expansion. Cette découverte repose sur le phénomène de décalage vers le rouge, où la lumière des galaxies lointaines devient plus rouge à mesure qu'elles s'éloignent.

Cette découverte va jeter le trouble chez de nombreux cosmologistes, et l'hypothèse d'une expansion de l'Univers à partir d'un big bang initial devra attendre plusieurs décennies avant d'être universellement acceptée.

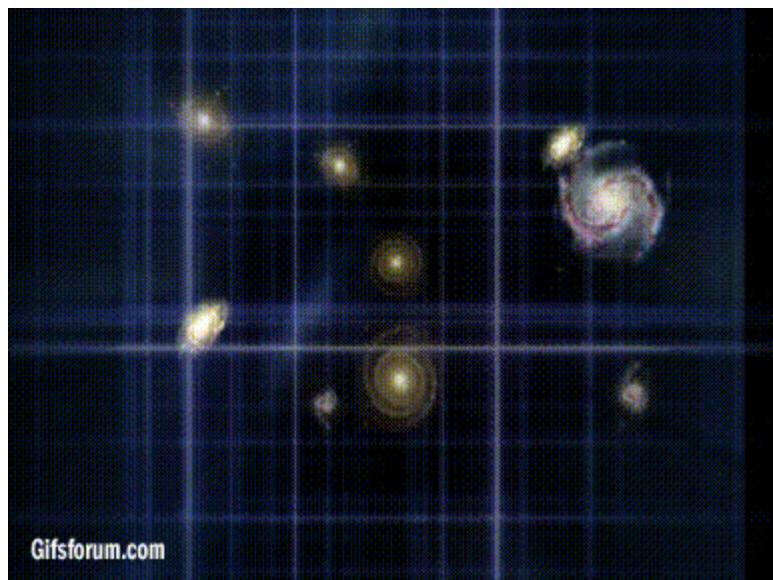


[revenir au sommaire](#)

BON, ALORS, C'EST QUOI L'EXPANSION DE L'UNIVERS ?

L'Univers constitue un cadre dans lequel évoluent les objets astronomiques tels que galaxies, nébuleuses, étoiles, planètes, et quasars. En première approximation, ces objets sont à peu près immobiles par rapport à ce cadre, mais le cadre lui-même n'est ni rigide, ni statique : il est en expansion, et cette expansion entraîne tous les objets.

Cet écartement mutuel, que l'on pourrait prendre pour un mouvement des galaxies dans l'espace, s'interprète en réalité par un gonflement de l'espace lui-même, les objets célestes étant de ce fait amenés à s'éloigner les uns des autres.



Puisque ce cadre n'est pas matériel – il s'agit d'un support géométrique –, il nous est impossible d'enregistrer directement son évolution : les galaxies en sont les meilleurs révélateurs, et l'expansion de l'Univers, première propriété cosmologique, est donc un fait observationnel. Jusque-là tout va bien ? Parfait.

La base de la cosmologie du XXème siècle a été de reconnaître que cette expansion n'était pas une des propriétés individuelles des galaxies, mais une propriété du support géométrique cosmique.

Une façon intuitive de visualiser cela est de reprendre l'analogie de la toile élastique que l'on étire dans toutes les directions. Si l'on dessine des motifs sur la toile, alors ceux-ci grossissent en même temps qu'ils semblent s'éloigner les uns des autres lorsque l'on étire la toile. Par contre, si au lieu de dessiner des motifs on colle sur la toile un objet rigide (une pièce de monnaie par exemple), alors, en étirant la toile, on va encore éloigner les objets les uns des autres, mais cette fois ils vont garder une taille constante. C'est un

processus de ce type qui est à l'œuvre avec l'expansion de l'Univers. C'est bon, ma cousine préférée ? Petite explication avec un ballon, mes lecteurs sont des grands enfants, c'est bien connu...

A noter : le lien ci-dessous s'ouvre dans une autre page (onglet), pour revenir à l'article, tu dois fermer cette nouvelle page, et n'oublie pas de mettre le son de ton ordinateur.

[Clique ici.](#)

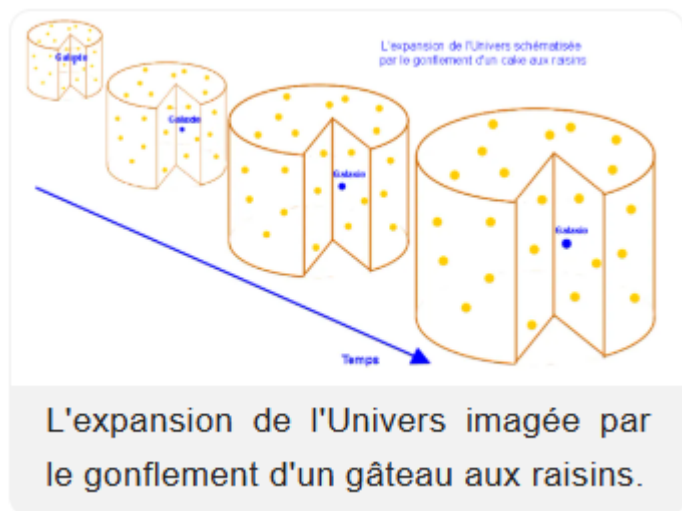
La théorie actuelle suggère que cette expansion a commencé après le Big Bang, il y a environ 13,8 milliards d'années. Ce qui est encore plus captivant, c'est que l'expansion s'accélère, probablement à cause d'une force mystérieuse appelée énergie noire (voir article de ton serviteur sur RR en [cliquant ici](#)), qui constitue environ 68 % de l'univers.

Si l'on suit ce raisonnement, cela soulève des questions profondes : l'univers continuera-t-il à s'étendre indéfiniment ? Atteindra-t-il un point de rupture ? Ce mystère reste au cœur de la recherche en cosmologie.

[revenir au sommaire](#)

COMMENT SE MANIFESTE L'EXPANSION DE L'UNIVERS ET COMMENT LE SAVONS-NOUS ?

En cosmologie, l'expansion de l'Univers est le nom du phénomène qui voit à grande échelle les galaxies s'éloigner les unes des autres. Cet écartement mutuel, que l'on pourrait prendre pour un mouvement des galaxies dans l'espace, s'interprète en réalité par un gonflement de l'espace lui-même, les objets célestes étant de ce fait amenés à s'éloigner les uns des autres.



Du point de vue observationnel l'expansion se traduit par une augmentation de la longueur d'onde de la lumière émise par les galaxies : **c'est le phénomène de décalage vers le rouge**. Pour mieux t'expliquer, je te dirai que ce phénomène indiquerait que les galaxies sont animées d'une vitesse d'éloignement, le décalage vers le rouge étant dû à un effet Doppler, l'équivalent lumineux du son émis par la sirène d'une ambulance qui paraît d'autant plus grave que l'ambulance s'éloigne vite.

La découverte de ce décalage vers le rouge est attribuée à l'astronome américain Edwin Hubble en 1929, bien qu'il ait été implicitement mis en évidence 15 ans plus tôt par Vesto Slipher et prédit, voire mesuré, par Georges Lemaître à la fin des années 1920. De façon concomitante, l'interprétation physique correcte de ce décalage vers le rouge est donnée par la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein, qui permet de décrire la dynamique de l'Univers dans son ensemble. L'expansion de l'Univers est de fait une vérification remarquable de la relativité générale, même si, de façon quelque peu surprenante, Albert Einstein lui-même n'y a jamais adhéré, tentant même d'en proposer une explication alternative, la lumière fatiguée, théorie depuis longtemps complètement abandonnée.



La conséquence immédiate de l'expansion de l'Univers est que celui-ci était par le passé plus dense et donc plus chaud. Le concept du Big Bang, qui repose sur l'idée qu'une telle époque dense et chaude a effectivement existé, en découle naturellement et peut donc être considéré comme établi.

Du point de vue théorique l'expansion de l'Univers est contenue dans les modèles issus de la relativité générale décrivant l'Univers dans son ensemble. De telles constructions sont appelées de façon naturelle modèles cosmologiques. Les équations qui décrivent l'expansion de l'Univers dépendent des propriétés de la ou des formes de matière qui emplissent l'Univers. Elles s'appellent équations de Friedmann.

Harlow Shapley



Heber Doust Curtis



Edwin Hubble



Télescope Hooker



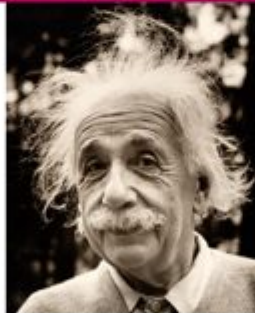
Henrietta Leavitt



Georges Lemaître



Albert Einstein



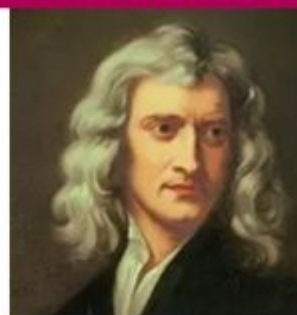
**Alexandre
Friedmann**



Johannes Kepler



Isaac Newton



[revenir au sommaire](#)

COMMENT SE MANIFESTE CETTE EXPANSION ? PLUS DE DETAILS

Les techniques d'observation nous permettent de mesurer la vitesse d'une galaxie par rapport à nous, ou du moins la

composante radiale de cette vitesse, c'est-à-dire l'éloignement (éventuellement le rapprochement) dans la direction nous joignant à cette galaxie.

En effet, les lois de propagation des ondes énoncent qu'un rayonnement (en astronomie, il s'agit le plus souvent de lumière visible ou d'ondes radio) est reçu avec **une fréquence différente de sa fréquence d'émission si la source est en mouvement (effet Doppler-Fizeau)**. Or ce que nous connaissons des processus d'émission du rayonnement dans les galaxies nous permet d'affirmer que telle ou telle composante du rayonnement (une raie spectrale, en général) est émise à une fréquence bien définie, appelée fréquence d'émission, alors que les analyses spectroscopiques nous permettent de mesurer la fréquence reçue, appelée fréquence de réception, différente, de ce même rayonnement. Le décalage spectral $z = (f_{\text{émission}}/f_{\text{réception}}) - 1$ est une mesure de la vitesse radiale v selon une formule bien établie et qui aboutie à : $z = v/c$ où v est la vitesse radiale, c la vitesse de la lumière, et z le décalage spectral. C'est ce décalage spectral z qui nous indique si la galaxie s'éloigne ou se rapproche de nous.

L'expansion de l'Univers se manifeste ainsi par l'observation d'une récession (éloignement) apparente des objets astrophysiques lointains. Si l'on ne peut pas détecter de déplacement de leur position ou leur taille apparente, car le phénomène d'éloignement est très lent à l'échelle humaine, **on constate un décalage vers le rouge de leur spectre (c'est-à-dire de la lumière qu'ils émettent)**. Ce phénomène est mis en évidence par le fait que le spectre de ces objets possède des raies d'émission et d'absorption caractéristiques des éléments chimiques qui les composent, et dont la position dans le spectre est fixée. Il existe une relation de proportionnalité entre le taux d'augmentation de la distance des galaxies (ou pseudo-vitesse de récession) et cette distance elle-même, cette loi étant connue sous le nom de Loi de Hubble, du nom de son découvreur, Edwin Hubble, en 1929.

[revenir au sommaire](#)

Bien, je pense que tu as assez pour cogiter cette nuit.

Cet article est en trois partis, donc rendez-vous pour la deuxième avec le plus grand des plaisirs !

Professeur Têtenlair