

# L'expansion de l'Univers : vaste programme ! 2/3

écrit par Professeur Tetenlair | 21 avril 2025



Chers passionnés d'Astronomie re-bonjour !

La dernière fois nous avons vu, dans ce thème de l'expansion de l'Univers, en première partie les éléments suivants :

1. Introduction
2. Découverte de l'expansion de l'Univers
3. Bon, alors, c'est quoi l'expansion de l'Univers ?
4. Comment se manifeste l'expansion de l'univers et comment le savons-nous ?
5. Comment se manifeste cette expansion (plus de détails) ?

Pour aller relire (ou lire !) cette première partie, [clique ici](#).

*Comme pour la première partie, pour lire l'article de cette deuxième partie 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.*

A l'attaque moussaillon !

### [1\) Lire l'article en entier d'affilé](#)

### [2\) Le décalage vers le rouge](#)

- [Généralités](#)
- [Différents types de décalage vers le rouge](#)
  - [Le décalage Doppler](#)
  - [Le décalage gravitationnel](#)
  - [Le décalage cosmologique](#)

### [3\) La constante de Hubble – Lemaître](#)

- [Expansion de l'Univers et vitesse des galaxies](#)
- [Mesure des distances cosmologiques](#)
- [Échelle des distances cosmologiques](#)
- [Prédictions théoriques de la valeur de la](#)

constante de Hubble-Lemaître

4) Mouvements dans l'espace, ou expansion de l'Univers ?

5) Quel impact a eu la découverte de l'expansion de l'Univers sur la cosmologie ?

- Émergence de la théorie du Big Bang
- Abandon du modèle d'univers éternel
- Exploration de l'énergie noire
- Nouvelle méthodologie scientifique
- Implications philosophiques

6) Historique de la découverte

7) Quelles sont les conséquences de la découverte de l'expansion de l'Univers ?

- Projet DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument)
- Télescope de cosmologie d'Atacama (ACT)
- Nouvelles données sur les supernovas de type Ia (SNIa)

8) L'expansion de l'Univers n'a pas toujours été bien accepté !



**LE DÉCALAGE VERS LE ROUGE OU « RED SHIFT »**



## Généralités

Le décalage vers le rouge est un effet physique qui a permis à Georges Lemaître puis Edwin Hubble, au début du siècle dernier, de comprendre que l'univers n'est pas immuable et qu'il était d'ailleurs en expansion, comme expliqué dans la [première partie](#), ce qui aboutira à la théorie du Big Bang ! Voici comment ces deux personnes ont pu découvrir ce phénomène. Très intéressant, ne

trouves-tu pas ami passionné ?

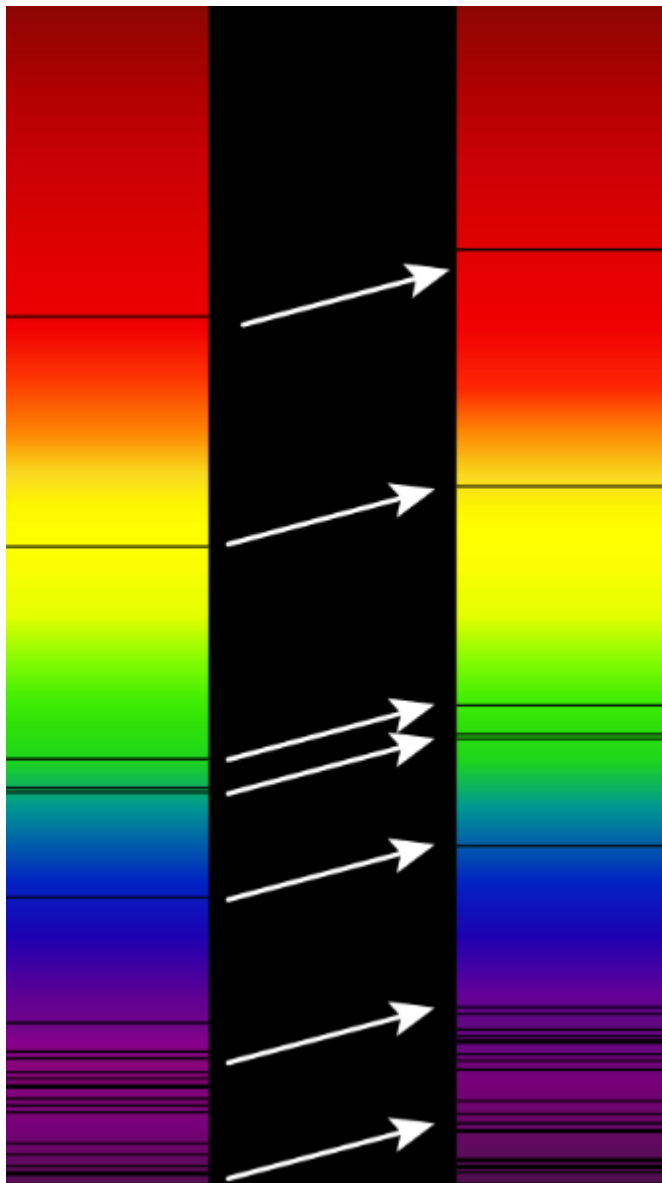
La science permet de déterminer facilement, à distance, la composition chimique des corps célestes. En effet, chaque type d'atome présent dans un corps céleste « signe » sa présence en supprimant une ou plusieurs nuances très précises de couleur de la lumière qui nous provient de ce corps.

Ces nuances supprimées se traduisent par des raies sombres dans l'arc-en-ciel obtenu en faisant passer cette lumière à travers un prisme, comme sur le schéma ci-dessous (ici les raies de Fraunhofer).



Pour résumer, on peut dire que la présence d'un type d'atome dans un corps céleste supprime certaines nuances de couleur. Ces nuances de couleur supprimées correspondent à des fréquences (de photon) bien précises, et forment des raies noires toujours au(x) même(s) endroit(s) du spectre lumineux lors des expériences (schéma ci-dessus). Elles permettent d'identifier sans erreur les atomes : azote, sodium, oxygène, etc.

Mais voilà, coquin, en analysant la lumière en provenance d'autres étoiles lointaines voire d'autres galaxies situées très loin de nous, surprise ! **Les raies correspondant aux atomes étaient reconnaissables, mais pour quasiment toutes les galaxies, ces raies étaient décalées (en fréquence) vers le rouge ! Or, ce décalage vers le rouge signifie que le corps ayant émis la lumière s'éloigne de nous. Et plus le corps céleste est lointain, plus ce décalage est important...**



Non seulement presque toutes les galaxies s'éloignent de la nôtre, mais de plus, les scientifiques ont découvert que plus ces galaxies sont lointaines, plus le décalage vers le rouge est prononcé, donc plus elles s'éloignent vite.

Avant que ton neurone explose, voici un résumé du redshift (décalage vers le rouge) :

Lorsque la lumière voyage depuis une galaxie lointaine jusqu'à nous, les longueurs d'onde de cette lumière s'étirent en raison de l'expansion de l'espace. Cela déplace la lumière vers le rouge du spectre visible. En mesurant ce décalage vers le rouge, les astronomes

peuvent déterminer à quelle vitesse une galaxie s'éloigne de nous. C'est directement lié au taux d'expansion de l'univers.


Ce phénomène marque l'expansion de l'Univers, à travers la dilatation de l'espace-temps. Le tout petit film suivant t'explique cela très simplement.

*A noter : le lien ci-dessous s'ouvre dans une autre page (onglet), pour revenir à l'article, tu dois fermer cette nouvelle page.*

[Clique ici.](#)

## Différents types de décalage vers le rouge

Il existe trois principaux types de décalage vers le rouge :

1. Le décalage Doppler : si une source lumineuse se déplace à grande vitesse par rapport à un observateur, ses ondes lumineuses sont « étirées », entraînant un décalage vers le rouge. Cela fonctionne sur le même principe que le changement de fréquence du son d'une ambulance qui s'éloigne.
2. Le décalage gravitationnel : il se produit lorsque la lumière d'un objet voyage à travers un champ gravitationnel intense, ce qui « étire » les longueurs d'onde.
3. Le décalage cosmologique : celui-ci est dû à l'expansion de l'univers lui-même. À mesure que l'espace s'étend, les longueurs d'onde de la lumière s'allongent. **C'est le type de décalage vers le rouge le plus utilisé pour mesurer l'expansion de l'univers.** 


Le décalage cosmologique est, en effet, essentiel pour déterminer la vitesse d'expansion de l'univers. En

mesurant le degré de décalage vers le rouge d'une galaxie ou d'un autre objet céleste, les astrophysiciens peuvent estimer sa vitesse d'éloignement et sa distance par rapport à la Terre. Ces données sont utilisées pour établir la loi de Hubble-Lemaître, qui relie la distance des galaxies à leur vitesse de récession (voir paragraphe suivant).

## LA CONSTANTE DE HUBBLE-LEMAÎTRE

La constante de Hubble-Lemaître, longtemps appelée constante de Hubble, est un paramètre important en cosmologie. Notée  $H_0$ , elle correspond au taux actuel de l'expansion de l'Univers. Elle tire son nom de l'Américain Edwin Hubble (1889-1953) et du Belge Georges Lemaître (1894-1966) qui ont indépendamment observé, respectivement en 1929 et 1927 (marrant, hein ?), que la vitesse d'éloignement des galaxies par rapport à la Terre, dite vitesse de récession, est proportionnelle à leur distance de celle-ci,  $H_0$  étant le facteur de proportionnalité.

Autrement dit, mon cousin, plus une galaxie est éloignée ou proche de la Terre, plus sa vitesse de récession (d'éloignement) varie. Cette variation est mesurée par la valeur  $H_0$  de la constante de Hubble-Lemaître.

Cette découverte, qui a démontré l'expansion de l'Univers et a donné naissance à la cosmologie moderne, est, près d'un siècle plus tard, encore au centre de toutes les attentions. Et oui !! Les dernières mesures de  $H_0$  sont incompatibles avec la prédiction théorique déduite de la relativité générale et de l'observation des premiers âges de l'Univers, puisqu'elles sont plus grandes (les dernières mesures de  $H_0$ ) que prévu. L'Univers semble donc grandir trop vite...

## A) Expansion de l'Univers et vitesse des galaxies

Pour comprendre les implications d'une valeur de  $H_0$  plus grande que prévue, il faut revenir sur le concept d'expansion de l'Univers et donc sur la différence entre les mouvements propres des galaxies et la dilatation de l'espace-temps. Assois toi bien.

Le fait que les galaxies s'éloignent de la Terre d'autant plus vite qu'elles sont lointaines ne signifie pas que notre Galaxie, la Voie lactée, est au centre de l'Univers (je pense que tu le savais, ça, ☐) mais plutôt que la distance ( $d$ ) entre chaque galaxie augmente avec le temps – autrement dit, que l'espace-temps est en expansion. Ainsi, le terme de « vitesse de récession » (ou « vitesse de fuite »), noté  $v_r$  (avec  $v_r = (H_0) \times (d) = (c) \times (z)$ ),  $c$  étant la vitesse de la lumière dans le vide, et  $z$  le décalage vers le rouge de l'objet, est un abus de langage, **car ce n'est pas une vitesse, dans le sens d'un déplacement des galaxies dans l'Univers, que trace la constante de Hubble-Lemaître, mais bien l'expansion de la géométrie de l'espace-temps lui-même.** Pour mieux comprendre, il faut analyser comment cette « vitesse de récession » est obtenue.

Grâce à des observations spectroscopiques, il est possible de comparer les longueurs d'onde de raies d'émission ou d'absorption présentes dans le spectre d'une galaxie avec celles que l'on observe en laboratoire pour les mêmes éléments physico-chimiques (notamment l'hydrogène ou l'oxygène). Ce décalage vers le rouge observé est la combinaison, en fait, de deux effets bien différents :

1. Le premier est un effet Doppler, c'est-à-dire un décalage dans la longueur d'onde induit par le mouvement propre de la source qui fait qu'elle apparaît plus rouge ou plus bleue selon,



respectivement, qu'elle s'éloigne (et donc dilate la longueur d'onde) ou se rapproche de l'observateur (et donc la comprime). Cet effet est donc provoqué par le mouvement des galaxies dans l'Univers, relativement les unes aux autres. Ces mouvements propres, dont les vitesses sont de l'ordre de quelques centaines de kilomètres par seconde, sont dus à l'action gravitationnelle que la masse d'une galaxie exerce sur la masse d'une autre.

2. Le second effet est un effet cosmologique engendré par la dilatation de l'espace-temps pendant la durée où le photon a voyagé entre la galaxie source et l'observateur. Si l'Univers s'est dilaté de 10 %, alors le photon est 10 % plus rouge ( $z = 0,1$ ). C'est ce second effet que l'on cherche à mesurer. Le mouvement propre des galaxies apparaît donc comme une « nuisance » dont il faut s'affranchir pour pouvoir mesurer précisément  $H_0$ . Sachant que les galaxies se déplacent dans l'Univers avec des vitesses propres de l'ordre de 300 km/s, soit 1/1 000 de la vitesse de la lumière  $c$ , il faut mesurer des distances d'objets disposant d'un décalage vers le rouge apparent  $z > 0,02$  pour que les effets du mouvement propre des galaxies soient négligeables.



## **B) Mesure des distances cosmologiques**

## Henrietta Leavitt



Une fois la vitesse de récession (éloignement) connue, l'autre élément clé pour mesurer l'expansion actuelle de l'Univers (donc  $H_0$ ) est le calcul des distances. Pour cela, Hubble et Lemaître ont utilisé la relation « période-luminosité » des céphéides découverte en 1908 par l'astronome américaine Henrietta Leavitt (1868-1921).


Une Céphéide est une étoile de 4 à 15 fois plus massive que le Soleil et de 100 à 30 000 fois plus lumineuse. Elle est instable et sa luminosité varie périodiquement au cours du temps. Les céphéides sont des étoiles pulsantes dont la luminosité varie de 0,1 à 2 magnitudes selon une période bien définie, comprise entre 1 et 135 jours. Elles tiennent leur nom de l'étoile Céphée, identifiée en 1784 par John Goodricke.

Ces étoiles (les céphéides) ont une luminosité qui diminue et augmente de façon stable et périodique. Elles présentent donc une relation étroite entre la fréquence (période) de leur pulsation lumineuse et la luminosité  $L$  qu'elles émettent (luminosité absolue) : les plus brillantes pulsent plus lentement. Alors, en mesurant la pulsation d'une céphéide, il est possible d'estimer la distance  $d$  en comparant le flux moyen observé  $f$  (c'est-à-dire la lumière qui nous parvient) à la luminosité, qui est alors déduite de la période de pulsation, via une formule élémentaire de dilution du rayonnement lumineux dont je te passe les détails de ladite formule...

De tels objets astronomiques, avec lesquels il est possible d'estimer une distance à partir de l'observation de leur flux lumineux, sont appelés **chandelles standards**.

Pour synthétiser, on peut donc dire que les astrophysiciens utilisent des objets célestes dont la luminosité est bien connue, comme les supernovas de type Ia ou les étoiles variables céphéides, pour mesurer les distances dans l'univers. En comparant la luminosité observée (ce que nous voyons depuis la Terre) à la luminosité réelle, ils peuvent calculer à quelle distance se trouve l'objet. En combinant cette distance avec le décalage vers le rouge, ils établissent le taux d'expansion. No problémo, ami ?

Les céphéides sont généralement 10 000 fois plus lumineuses que le Soleil. Il y a un siècle déjà, Hubble et Lemaître ont pu en observer à des distances de quelques mégaparsecs (Mpc, soit  $10^6$  parsecs, un parsec correspondant à 3,26 années-lumière). En trouvant pour les galaxies qui les abritent des vitesses de récession de l'ordre de quelques milliers de km/s, il a été possible à cette époque d'estimer une valeur de  $H_0$  supérieure à  $100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ .

Mais, à ces distances, les vitesses propres des galaxies sont du même ordre de grandeur que l'effet cosmologique que l'on souhaite observer. C'est pourquoi, si la démonstration de l'existence de l'expansion de l'Univers était correcte, l'estimation de la valeur de  $H_0$  ne l'était pas. 


### C) Échelle des distances cosmologiques

Aujourd'hui encore, il est difficile d'observer des céphéides à plus de quelques dizaines de Mpc. Mais il existe, pour mesurer des distances, une autre chandelle standard, beaucoup plus rare mais bien plus brillante : **les supernovae** de type Ia (SNe Ia).

Ce sont des événements astrophysiques, correspondant à

l'implosion thermonucléaire de naines blanches qui, à leur pic de luminosité, sont aussi brillants qu'une galaxie tout entière, soit environ  $10^{10}$  fois la luminosité solaire. Du fait de cette forte luminosité, qui est quasiment la même quelle que soit la SNe Ia, les télescopes modernes peuvent donc détecter leur présence à des milliards de parsecs, dans une gamme de distance où l'effet de la vitesse propre d'une galaxie sur son décalage vers le rouge est négligeable. Ouah, tu te rends compte, mon ami ??

Cependant, comme pour les céphéides, la luminosité  $L_{SN}$  des SNe Ia doit être étalonnée. Donc, pour obtenir  $H_0$ , il faut d'abord mesurer  $L_{SN}$ . Mais les SNe Ia sont tellement rares – environ une seule par millénaire et par galaxie (!!!) – qu'aucune n'a pu être observée à une distance suffisamment proche pour disposer d'une mesure de distance directe comme celle fournie par la méthode des parallaxes. En revanche, il existe une quarantaine de SNe Ia suffisamment proches pour qu'il soit possible d'observer la période de pulsation de céphéides au sein de leur galaxie hôte. Il devient donc possible d'étalonner  $L_{SN}$  à partir de mesures de distances dérivées de la méthode des céphéides.

Les différentes collaborations ont donné comme résultat et publiées en 2022, ont donné ainsi une valeur de  $H_0$  égale à  $73,04 \pm 1,04 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Mpc}^{-1}$ . 

#### **D) Prédiction théorique de la valeur de la constante de Hubble-Lemaître**


Arno Penzias



Robert Wilson



Le fait que l'Univers soit en expansion signifie logiquement qu'il était plus dense par le passé. Cette idée, due à Georges Lemaître, dont est issue la théorie du big bang, a été confirmée en 1964 avec la découverte du fond diffus cosmologique par les Américains Arno Penzias (1933-2024) et Robert Wilson (1927-2002). Ce fond diffus correspond à la lumière émise lors de la formation des premiers atomes de l'Univers, qui devient alors transparent. Si le fond diffus cosmologique est globalement homogène, de légères surdensités de matière existent, à partir desquelles l'effondrement gravitationnel formera les galaxies et les grandes structures de l'Univers.


En 2020, la collaboration de chercheurs associée au télescope spatial européen Planck, qui a étudié dans le détail ces inhomogénéités du fond diffus cosmologique, a publié ses résultats finaux, décrivant précisément les propriétés de l'Univers primordial alors âgé seulement de quelque 380 000 ans après le Big Bang. En combinant les mesures du fond diffus cosmologique avec le modèle standard cosmologique, issu de la relativité générale d'Einstein, il est possible de déduire l'histoire de l'expansion de l'Univers et, en particulier, son taux actuel. L'analyse des données de l'observatoire Planck indique ainsi une valeur de  $H_0$  égale à  $67,4 \pm 0,5$   $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ . 

## **MOUVEMENTS DANS L'ESPACE OU EXPANSION DE L'ESPACE ?**

En mécanique classique ou en relativité restreinte, l'observation d'un décalage vers le rouge s'interprète en termes de déplacement dans l'espace et d'effet Doppler. En relativité générale, une telle

interprétation n'est plus suffisante car il **n'existe pas de notion d'espace absolu** comme en mécanique classique, ou tout au moins présentant une certaine structure rigide comme en relativité restreinte.

L'espace de la relativité générale est, dans un certain sens, « élastique », la distance entre les points étant par exemple fonction de la structure du champ gravitationnel dans leur voisinage. Il n'en demeure pas moins que la **relativité générale stipule que localement l'espace s'identifie à celui de la relativité restreinte.**

Si elle était généralisée à grande échelle l'interprétation Doppler pourrait soulever un paradoxe, car elle signifierait que des objets suffisamment éloignés s'éloigneraient à des vitesses supérieures à celle de la lumière et, de ce fait, semble enfreindre les lois de la relativité restreinte. Il n'en est rien car si ces objets se déplacent bien avec une vitesse relative plus grande que celle de la lumière, cela ne permet pas d'échange d'information. **Ainsi l'accroissement de la distance mutuelle entre galaxies dû à l'expansion de l'espace n'est pas en conflit avec la relativité restreinte.** Et oui.... 

## **QUEL IMPACT A EU LA DÉCOUVERTE DE L'EXPANSION DE L'UNIVERS SUR LA COSMOLOGIE ?**

Il faut bien se rendre compte, chère cousine, que la découverte de l'expansion de l'Univers a eu un impact révolutionnaire sur la cosmologie, transformant notre compréhension de l'Univers et de ses origines. Voici, rien que pour toi, les principaux points marquants :

- Émergence de la théorie du Big Bang

Avant cette découverte, de nombreuses scientifiques

pensaient que l'Univers était statique et immuable. L'observation d'Edwin Hubble, montrant que les galaxies s'éloignent les unes des autres, a confirmé que l'Univers est en expansion et a conduit à la formulation de la théorie du Big Bang. Cette théorie propose que l'Univers a commencé à partir d'un état extrêmement dense et chaud, il y a environ 13,8 milliards d'années comme tu le sais déjà.

- Abandon du modèle d'Univers éternel

Le modèle de l'univers éternel et statique a été remplacé par une vision dynamique où l'univers évolue au fil du temps. Cela a obligé les cosmologistes à repenser les lois fondamentales de la physique et à intégrer l'idée que l'Univers a une histoire et une origine.

- Exploration de l'énergie noire

La découverte que l'expansion de l'univers s'accélère a introduit un nouveau mystère en cosmologie : l'énergie noire. Cette force inconnue, qui représente environ 68 % de l'énergie de l'Univers, pousse les galaxies à s'éloigner à un rythme croissant. Les recherches sur l'énergie noire ont ouvert des pistes pour des théories plus avancées sur la nature de l'espace-temps. Je t'invite à lire ou relire l'article sur RR de ton serviteur sur l'énergie noire (et la matière noire dans la foulée), intitulé « *De quoi est constitué 96 % de l'univers ? Pas de ce qui se voit* », article en 3 parties, en [cliquant ici](#).


- Nouvelle méthodologie scientifique

Les astrophysiciens et cosmologistes ont développé des outils et des techniques de pointe, comme la mesure du décalage vers le rouge et l'utilisation de télescopes spatiaux. Ces avancées technologiques ont permis d'étudier l'univers à grande échelle, rassemblant des

preuves pour modéliser l'évolution cosmique.

- Implications philosophiques

La découverte a également eu des répercussions philosophiques. Elle a soulevé des questions profondes sur l'origine de l'Univers, son éventuelle fin, et notre place en tant qu'humains dans un cosmos en constante évolution.

En résumé, cette découverte a marqué un tournant majeur, transformant la cosmologie d'une discipline principalement théorique en une science basée sur l'observation et l'expérimentation. Qu'en penses-tu, cousin ? 

## **HISTORIQUE DE LA DÉCOUVERTE**

La découverte de l'expansion de l'Univers date de la première moitié du XXe siècle et s'est faite en plusieurs étapes.


Au début du XXe siècle, de nombreux objets diffus étaient vus au télescope. Ces objets étaient tous désignés sous le terme générique de « nébuleuses ». En fait, ils représentaient d'une part ce que nous continuons à appeler des nébuleuses et d'autre part ce que nous appelons maintenant des galaxies, c'est-à-dire des ensembles d'étoiles extérieurs à la Voie lactée.



À l'époque, la question de la nature et de la distance de ces nébuleuses se posait déjà. La spectroscopie permit d'apporter un premier élément de réponse à partir de 1914, année où l'astronome américain Vesto Slipher montra qu'une certaine classe de ces « nébuleuses » (en fait les galaxies) présentaient une tendance systématique à s'éloigner de nous. Cela semblait indiquer que ces objets étaient situés en dehors de notre Galaxie car dans le cas contraire on se serait attendu à ce qu'une partie égale d'entre eux s'approchent et s'éloignent de nous. En outre en faisant le produit de la vitesse observée par des temps de l'ordre de quelques milliards d'années on aboutissait à des distances parcourues dépassant la taille supposée de la Voie lactée.



En 1920 se tint une réunion scientifique sur la nature des « nébuleuses », qui fut par la suite appelé *Le Grand Débat*. Elle opposa Harlow Shapley à Heber Doust Curtis, en désaccord sur le caractère extragalactique ou non de certaines nébuleuses, en particulier la galaxie d'Andromède. Le débat n'aboutit à aucune conclusion définitive faute de données suffisantes.

C'est à partir de 1925 que Edwin Hubble put observer des céphéides grâce au télescope Hooker de 2,5 mètres de l'observatoire du Mont Wilson. Au moyen de la relation période-luminosité établie par Henrietta Leavitt, il calcula la distance de plusieurs nébuleuses et prouva leur nature extragalactique. 

Lemaître dès 1927 établit que les solutions cosmologiques issues de la relativité générale sont en expansion, et qu'en conséquence les objets y présentent

des vitesses d'éloignement proportionnelles à leurs distances. Après plusieurs années d'observations, Edwin Hubble établit la relation entre vitesse de récession (éloignement) et distance de plusieurs nébuleuses rebaptisées galaxies, prouvant ainsi l'expansion de l'Univers. Si cet astronome découvrit le phénomène brut, il resta perplexe quant à son interprétation.

Antérieurement à cette découverte observationnelle, les années 1907 à 1915 avaient vu l'élaboration de la relativité générale par Albert Einstein. Or, appliquée à l'Univers, cette nouvelle théorie de la gravitation prédisait une expansion de l'espace, comme l'avait montré Friedmann et Lemaître. Dès lors la rencontre entre la prédiction théorique d'Einstein et le résultat observationnel de Hubble est la preuve de la véracité à la fois de l'expansion de l'Univers selon le schéma de la relativité générale et de la phase de Big Bang qui en découle.

Cette conjonction entre théorie et observation est analogue à celle qui se produisit entre les découvertes de Kepler et Newton vers la fin du XVIIe siècle. Alors que le premier avait observé que les planètes décrivaient une ellipse autour du Soleil le second montrait par le seul calcul qu'une planète soumise à une force d'attraction inversement proportionnelle au carré de sa distance au Soleil parcourait cette même courbe : l'ellipse. **Cette validation réciproque de la théorie et de l'observation marquera la naissance de la science moderne. Elle se reproduisit donc avec la découverte de l'expansion de l'Univers.**



**Harlow Shapley**



**Heber Doust Curtis**



**Edwin Hubble**



**Télescope Hooker**



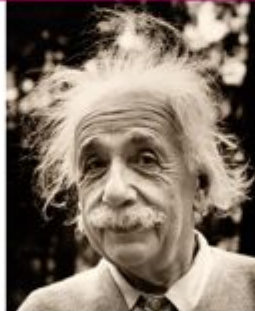
**Henrietta Leavitt**



**Georges Lemaître**



**Albert Einstein**



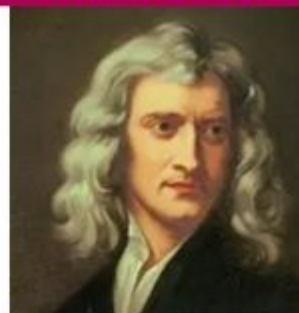
**Alexandre Friedmann**



**Johannes Kepler**



**Isaac Newton**




## **QUELLES SONT LES CONSÉQUENCES DE LA DÉCOUVERTE DE L'EXPANSION DE L'UNIVERS ?**

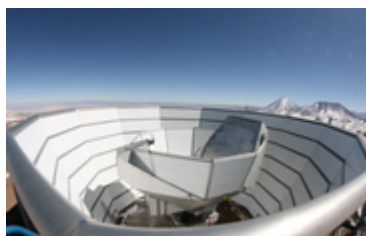
Les dernières avancées dans la mesure de l'expansion de l'univers sont fascinantes et ouvrent de nouvelles perspectives en cosmologie. Voici quelques points

marquants :

### 1. Projet DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument)


Le projet DESI a récemment publié la cartographie 3D la plus précise de l'univers, basée sur l'observation de 15 millions de galaxies. Ces données suggèrent que l'énergie noire, responsable de l'accélération de l'expansion de l'univers, pourrait ne pas être constante, mais varier avec le temps. Cela remet en question certaines hypothèses fondamentales. 

### 2. Télescope de cosmologie d'Atacama (ACT)



Situé au Chili, ce télescope a capturé des images extrêmement détaillées du fond diffus cosmologique (CMB), la lumière fossile émise peu après le Big Bang. Ces observations confirment les théories existantes sur la structure de l'Univers et offrent un aperçu inédit des conditions de l'univers primordial.

### 3. Nouvelles données sur les supernovas de type Ia :

Une étude récente a doublé le nombre de supernovas étudiées, permettant des mesures plus précises des distances cosmiques. Ces données pourraient conduire à une révision des modèles actuels de l'expansion de l'univers et fournir de nouvelles informations sur l'énergie noire. 


**L'EXPANSION DE L'UNIVERS N'A PAS TOUJOURS ÉTÉ BIEN ACCEPTÉ !**

La réalité de l'expansion de l'Univers n'a pas été acceptée d'emblée par tous les scientifiques. Et oui, tu vois, même dans le milieu scientifique, les idées nouvelles ne passent pas partout !

Cette expansion impliquait en effet que l'Univers était né du Big Bang et ce « commencement » absolu semblait à ses détracteurs en contradiction avec la position rationaliste et matérialiste de la science, car il pouvait dans leur esprit servir d'argument à l'idée d'une création divine.

Ces adversaires du Big Bang préféraient pour cette raison un modèle statique et éternel, **sans origine**. Des explications alternatives, connues sous le nom de **lumière fatiguée** (terme proposé par Richard Tolman en 1930), furent proposées pour réconcilier univers statique et décalage vers le rouge dès la découverte de l'expansion de l'Univers en 1929, et ce jusqu'aux années 1970.

Aucune théorie solide satisfaisante n'ayant jamais pu être construite dans ce sens, ces explications ont été abandonnées par la communauté scientifique, sauf peut-être par Johan Masreliez dans « *Cosmos à expansion d'échelle* » publié en 1999.

En 2010 l'Univers statique est défendu entre autres par des physiciens tels que Lorenzo Zaninetti ou Dean Mamas pour qui le décalage vers le rouge cosmologique n'est pas attribuable à une expansion de l'espace. Bon... 



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

Cet article est en trois parties, donc rendez-vous pour la troisième et dernière avec le plus grand des plaisirs !

**Professeur Têtenlair**

