



Johan Hagemeyer – 1931 – Domaine public

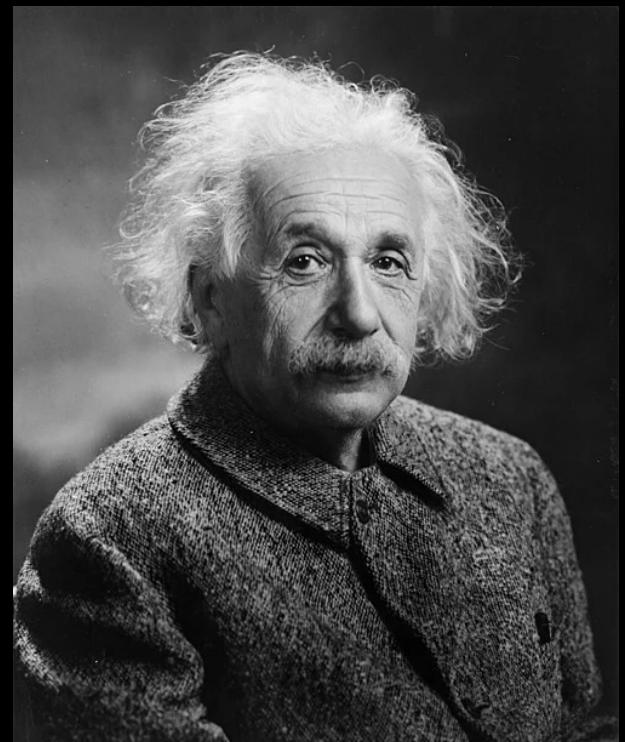
## *La tension de Hubble*



En 1915, **Albert EINSTEIN (1879-1955)** , publie sa théorie de la relativité générale. Elle s'exprime sous forme d'une équation qui décrit comment **la matière et l'énergie modifient la géométrie de l'espace-temps**. Cette courbure de la géométrie autour d'une source de matière est alors interprétée comme le champ gravitationnel de cette source.

Il se rend compte que sa théorie implique un univers dynamique pour lequel l'espace est fonction du temps, contraire à l'idée qu'il avait d'un univers statique.

Il ajoute alors à son équation une constante ( $\Lambda$  - **« constante cosmologique**) à laquelle il donne une valeur très particulière pour forcer son modèle d'univers à demeurer statique et éternel (univers statique d'Einstein).





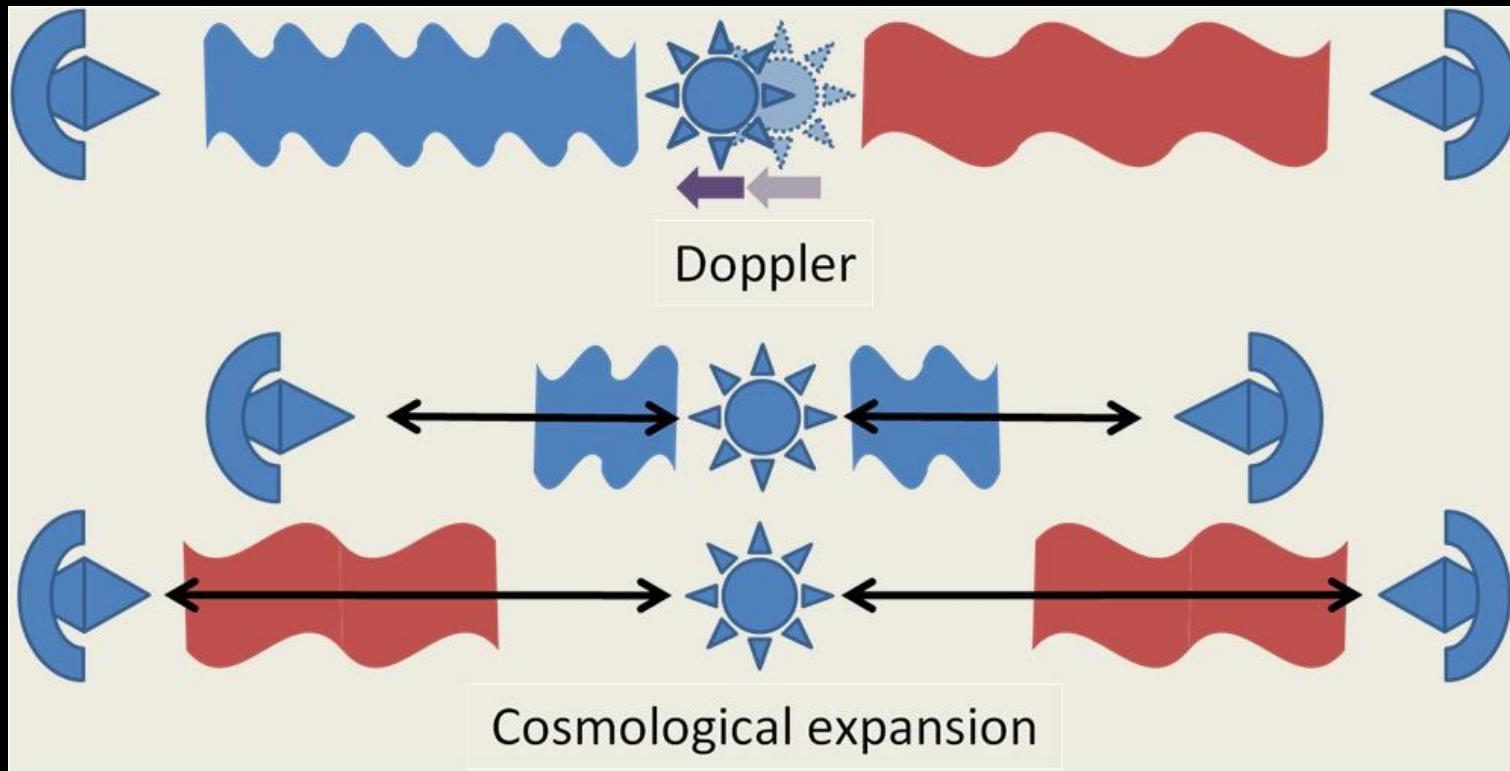
Le russe **Alexander Alexandrovitch FREIDMANN (1868-1925)** publie « **Sur la courbure de l'espace** » en 1922 où il démontre que selon la valeur attribuée à la constante cosmologique dans l'équation d'EINSTEIN l'existence possible d'univers dont la courbure est constante par rapport aux 3 coordonnées spatiales, mais dépend du temps conduisant à un Univers soit en éternelle expansion, soit stable, soit oscillant (expansion-contraction : **univers phénix**)

Indépendamment, l'abbé belge **Georges LEMAITRE (1894-1966)**, bâti un modèle où la constante cosmologique se voit attribuer le rôle d'une force « de répulsion cosmique » prédisant une expansion monotone dans son article paru en 1927 : « **Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques** »

Il en déduit que les nébuleuses extragalactiques ont des vitesses de récession qui sont la conséquence cosmique de l'expansion de l'Univers.

« *utilisant les 42 nébuleuses ...[des] listes de Hubble et de Strömgren, et tenant compte de la vitesse propre du Soleil, on trouve une distance moyenne de 0,95 millions de parsecs et une vitesse radiale de 600 km/s soit 625 km/s à 106 parsecs* »





©Brews ohare

**Edwin HUBBLE (1889-1963)** en collaboration avec **Milton HUMASON (1881-1972)** établit, en 1929, la relation entre la distance des galaxies (à partir des « **chandelles standards** ») et leur vitesse d'éloignement (par la spectroscopie). Cette relation est désormais connue sous le nom de **loi de Hubble-Lemaître**, à l'origine du concept d'**expansion de l'Univers** formulé par LEMAITRE. L'origine de cette expansion est attribuée à une énergie « **répulsive** » nommée « **énergie sombre ou énergie noire** » remplissant la totalité de l'Univers, dont la nature est encore inconnue (constante cosmologique ou théorie à modifier).

# *Les chandelles standards*

Dès 1897, **Michel LUIZET (1866-1918)** présente une thèse sur « les Céphéides considérées comme étoiles doubles, avec une monographie de l'étoile variable δ Céphée ». **Henrietta LEAWITT (1868-1921)**, dans les années 1910-1920, s'aperçoit que les périodes des céphéides sont d'autant plus grandes que celles-ci sont brillantes. Elle trouve une relation liant la période de variation à la moyenne de la luminosité apparente de ces étoiles, et donc à leur luminosité absolue ... il suffit de mesurer la distance d'une de ces céphéides (par exemple par la méthode de la parallaxe), pour obtenir une relation générale liant leur période et leur luminosité absolue, et ainsi déterminer la distance de n'importe quelle autre céphéide observée. Cette mesure est réalisée pour la première fois en 1916, à l'université Harvard, par **Harlow SHAPLEY (1885-1972)** qui complète la découverte d'Henrietta Leavitt.

D'après <https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9ph%C3%A9ide>

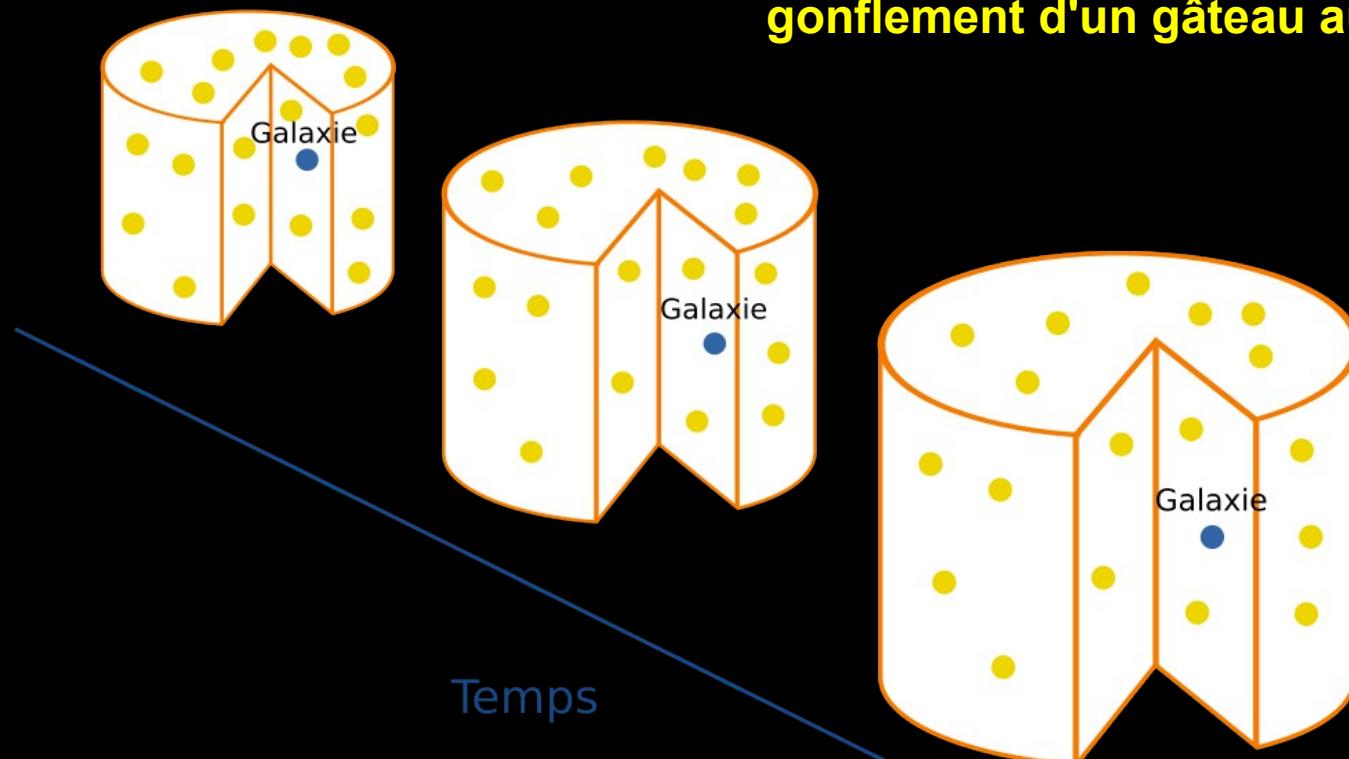


Merikanto — Travail personnel

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**. Ce décalage **n'est pas homologue à l'effet Doppler**, qui est dû au déplacement à travers l'espace de l'objet observé ; **il s'agit ici de l'expansion de l'espace lui-même**. On parle de **décalage spectral cosmologique**.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Expansion\\_de\\_l%27Univers](https://fr.wikipedia.org/wiki/Expansion_de_l%27Univers)

**L'expansion de l'Univers imagée par le gonflement d'un gâteau aux raisins.**



La loi de Hubble-Lemaître s'écrit :

$$v = H_0 d \text{ ou } cz = H_0 d$$

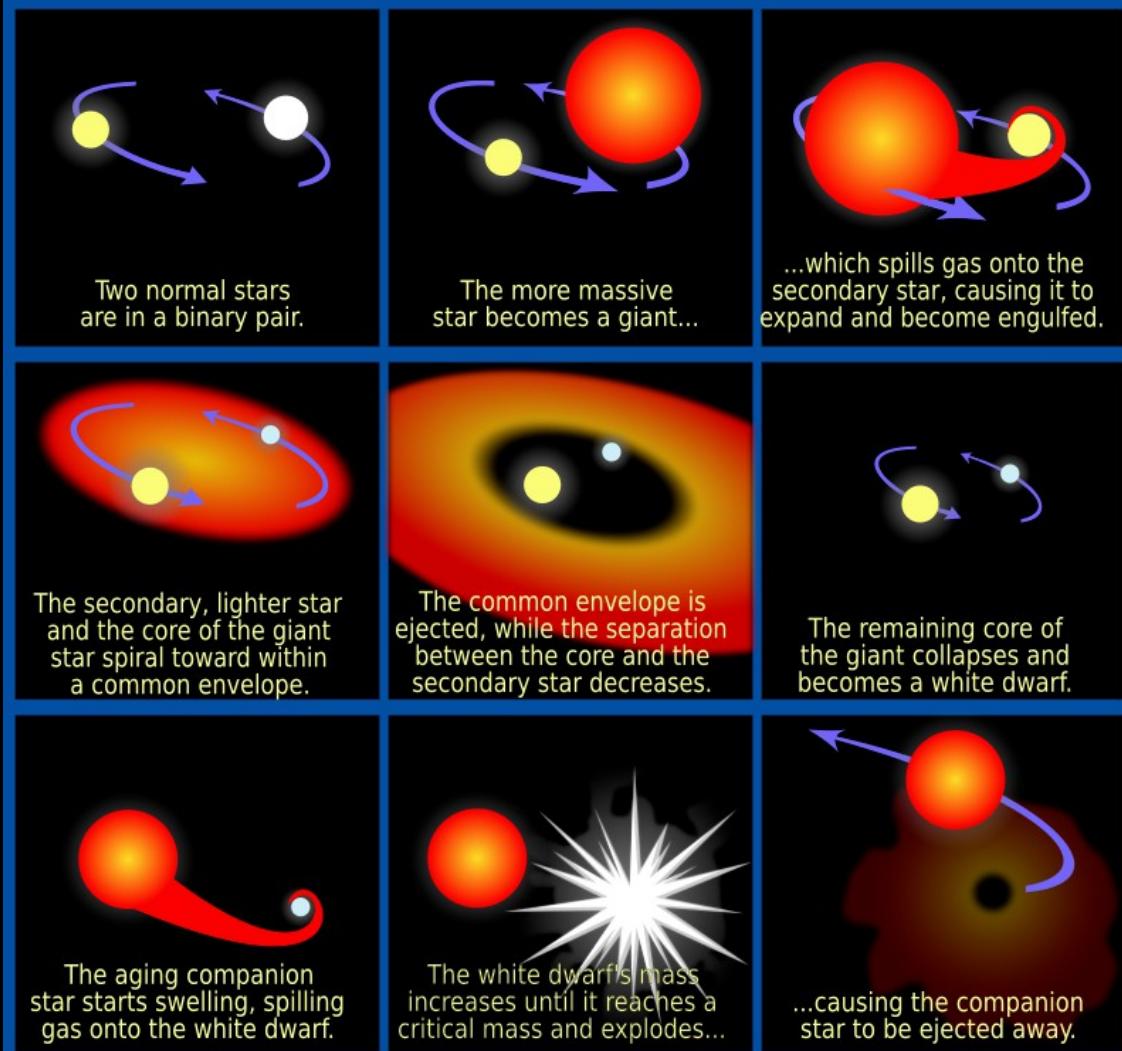
où  $H_0$  est la **constante de Hubble**, la lettre H étant utilisée en l'honneur de Hubble,  $v$  : vitesse de la lumière ( $\sim 300\ 000 \text{ km.s}^{-1}$ ) et  $z$  : décalage vers le rouge ((longueur d'onde observée-longueur d'onde au labo)/longueur d'onde au labo).

L'indice 0 est utilisé pour indiquer la valeur de la constante à l'instant présent. Celle-ci en effet n'est pas constante et diminue très rapidement dans le temps. Cependant, depuis quelques milliards d'années, le facteur d'échelle  $d$  augmente plus vite que  $H$  diminue, donc il y a accélération de l'expansion.

La valeur initiale trouvée par Hubble (de l'ordre de  $500 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ) était due à une mauvaise estimation de la magnitude absolue des céphéides (et qui en fait ne sont pas toutes de mêmes caractéristiques). Il en résultait un Univers agé de 2 milliards d'années alors que l'on savait déjà la Terre âgée de près de 5 milliards d'années.

D'après [https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi\\_de\\_Hubble-Lemaître](https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Hubble-Lemaître)

## The progenitor of a Type Ia supernova



NASA, ESA and A. Feild (STScI)



NASA

Pour des résultats plus précis, furent utilisées comme « chandelles-standards » les **supernovæ (de type 1a)**, ces explosions d'étoiles parfaitement calibrées, dont la luminosité maximale est toujours strictement identique.

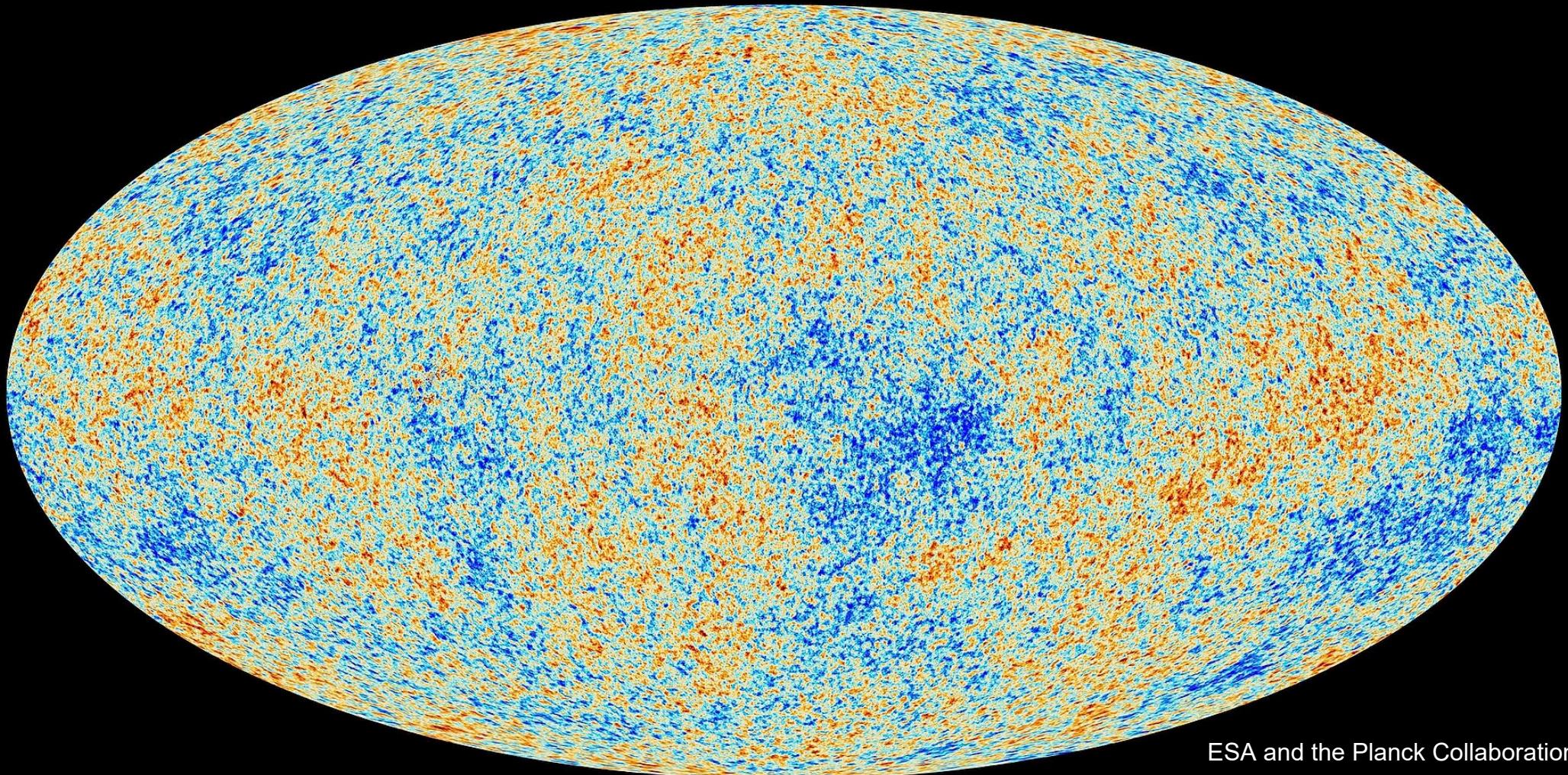
D'autres méthodes :

- l'étude du plan fondamental des galaxies ;
- l'étude des décalages des fluctuations de luminosité des images multiples des quasars dont plusieurs images sont produites par des effets de lentille gravitationnelle.

De ces méthodes, utilisées par les télescopes spatiaux, améliorées progressivement finissent par donner une valeur de

$$H_0 = 73,52 \pm 1,62 \text{ km/s/Mpc}$$

(Valeur déterminée par **Adam RIESS (1969-...)** en 2018)



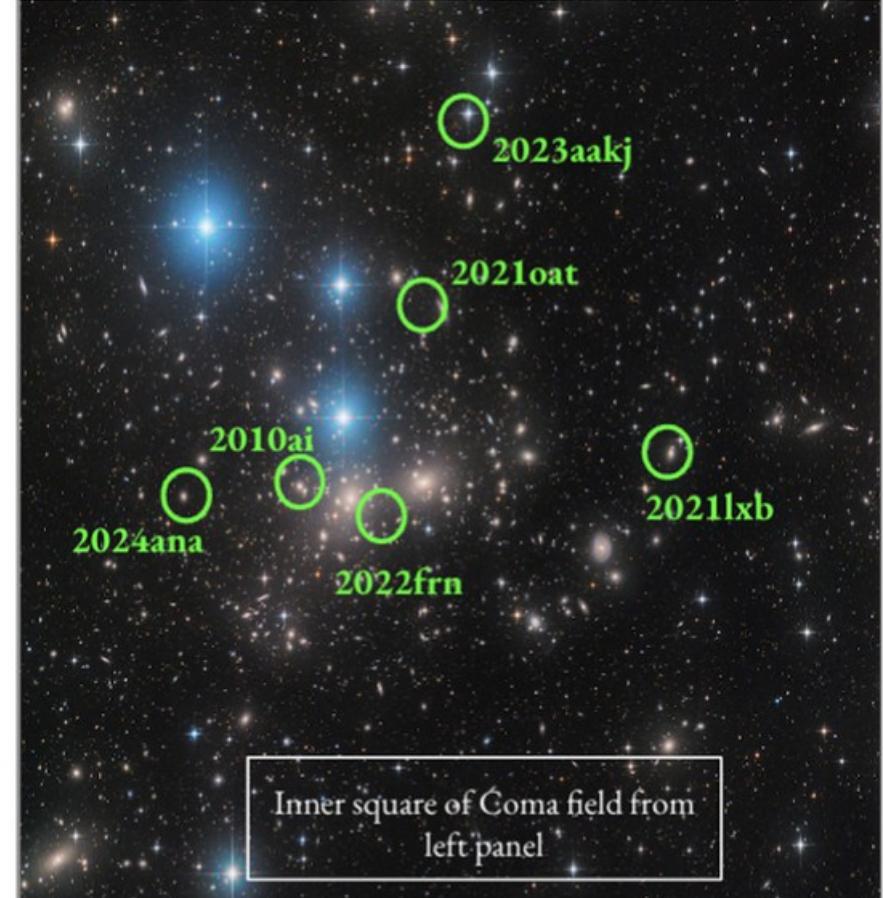
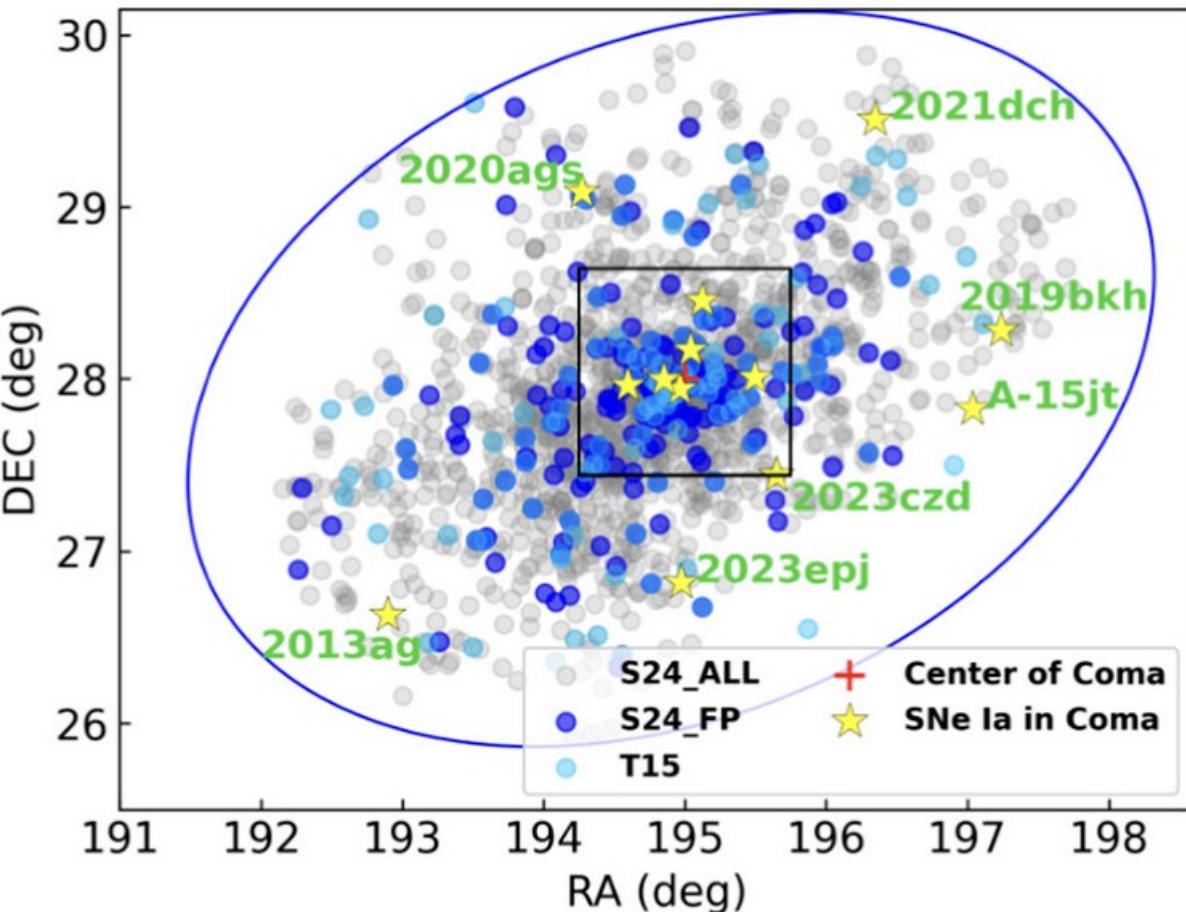
ESA and the Planck Collaboration

De l'analyse de la lumière du fond cosmologique diffus faite par les satellites COBE, WMAP ou PLANCK a permis « *indirectement un nouvel accès aux paramètres cosmologiques fondamentaux, comme le taux d'expansion ... un fossé s'est révélé entre, d'une part, la détermination de  $H_0$  mesurée par la fuite des galaxies et , d'autre part, celle obtenue par l'analyse de la lumière diffuse* »

Bonnet-Bidaud, Lepeltier « Big-Bang, histoire critique d'une idée»-p. 246

Les derniers résultats de Planck en 2018 donnent une valeur de :

$$H_0 = 67,27 \pm 0,6 \text{ km/s/Mpc}$$



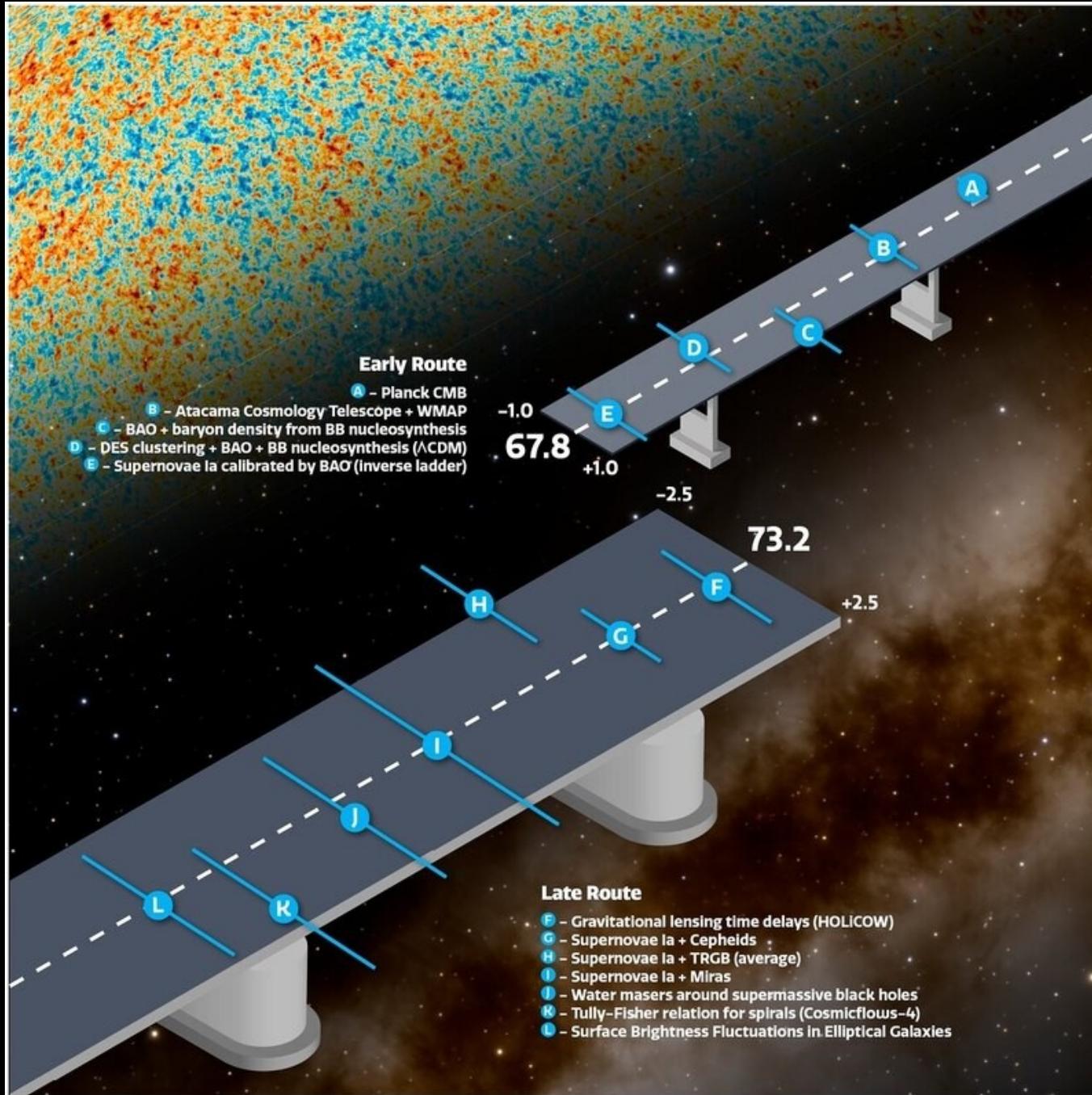
© Daniel Scolnic et al (AJL)

Une nouvelle étude a voulu adopter une échelle cosmique la plus précise et neutre possible. Elle s'est donc servie des travaux d'un groupe indépendant, le DESI, connu pour scruter jusqu'à 100 000 galaxies en une seule nuit. L'amas de galaxies au sein duquel les mesures ont été prises s'appelle Coma, ou encore la Chevelure de Bérénice.

La dernière étude DESI donne **76,05, voire 76,5 km/s/Mpc**

D'après <https://www.lesnumeriques.com/astronomie-conquete-spatiale/expansion-de-l-univers-la-tension-de-hubble-se-transforme-en-crise-cosmologique-n232142.html>

# « LA TENSION DE HUBLLE »



*« Une telle différence entre les deux méthodes de mesure sur le paramètre le plus fondamental de la cosmologie est plus qu'inquiétante. Du terme modéré de « **tension** », on est passé ouvertement à la notion de « **crise** » »*

Bonnet-Bidaud, Lepeltier « Big-Bang, histoire critique d'une idée»-p. 246

*« Les meilleures mesures jamais obtenues créent une **crise profonde** en cosmologie »*

Scientific American-Mars 2017 cité en Bonnet-Bidaud, Lepeltier « Big-Bang, histoire critique d'une idée»-p. 247

*« De fait, l'une des deux expériences mesure la vitesse de l'expansion telle que nous l'observons actuellement. En revanche, l'autre est une prédition de la vitesse de l'expansion de l'Univers déduite des caractéristiques du fond diffus dans le cadre du modèle du Big Bang ... [ce qui] pourrait donc indiquer que les cosmologistes se trompent dans leur décodage de ce fond diffus ... il faudrait peut-être modifier à nouveau [les] hypothèses, quitte à introduire de nouveaux éléments ... Ces innovations arriveront peut-être à résoudre l'anomalie. Mais il est possible que celle-ci trahisse un problème plus fondamental du modèle de Big Bang »*

Bonnet-Bidaud, Lepeltier « Big-Bang, histoire critique d'une idée»-p. 247-248

Peut-être aussi revoir nos mesures :

« *La Terre se trouverait dans un coin de l'Univers anormalement vide et cela fausserait nos mesures de l'expansion de l'Univers* »

Ciel et espace n°603 -P. 24

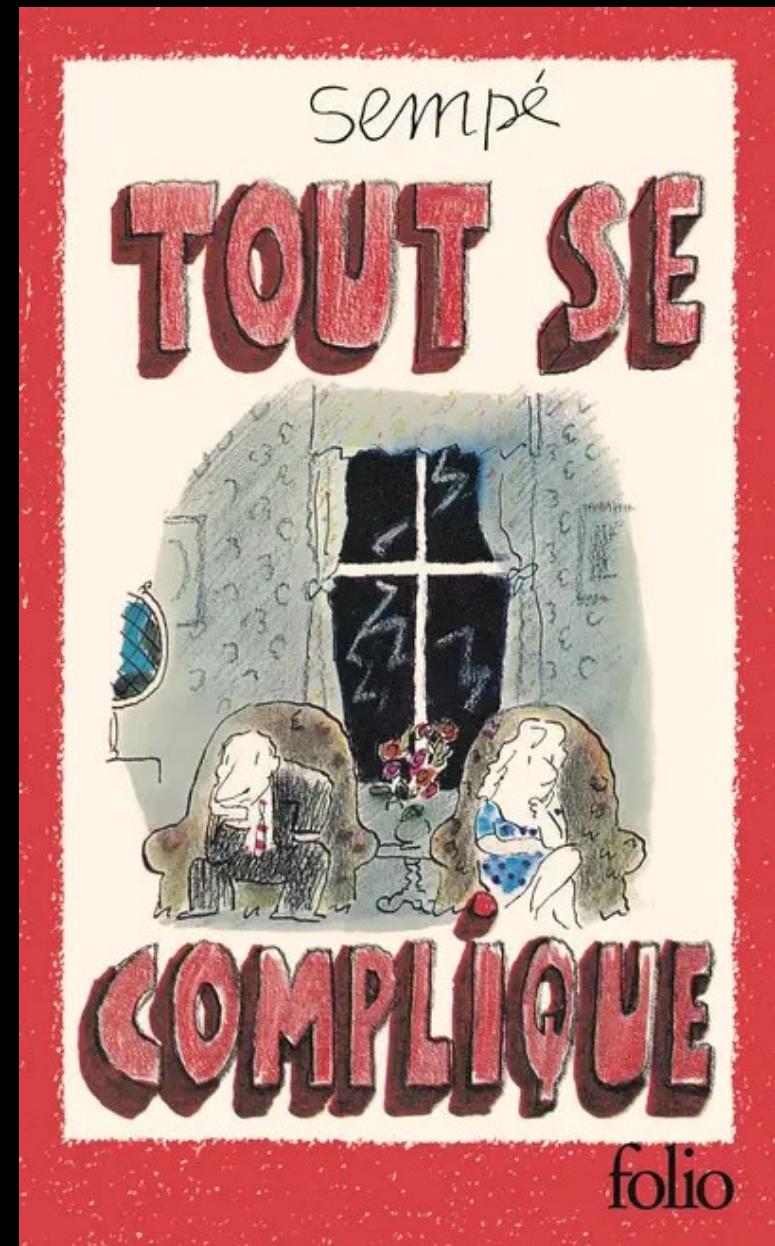
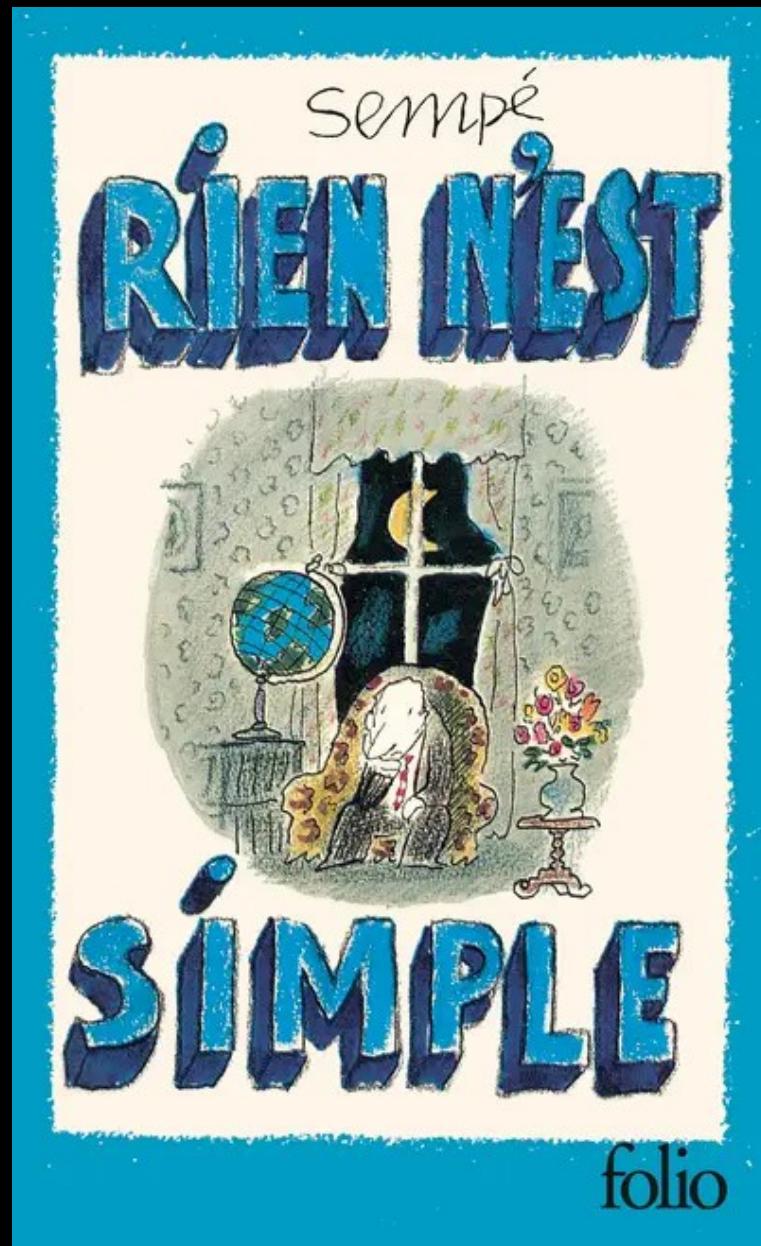
« *Ce vide local introduit un décalage vers le rouge ... qui vient s'ajouter à celui de l'expansion cosmique* »

Indranil Banik in Ciel et espace n°603 -P. 25

« *Si l'on pense que le décalage observé n'est dû qu'à l'expansion de l'Univers, alors la constante de Hubble qui en rend compte paraît plus grande qu'elle ne l'est en réalité, si on la corrige de cet effet d'attraction des galaxies de notre bulle locale par un milieu environnant plus dense*»

Ciel et espace n°603 -P. 25

## *Epilogue*



## *Principales sources*

- Revue « Ciel et espace » n° 603 p 24-25 « La tension de Hubble soulagée par une bulle de vide »
- Site « Les numériques.com » :  
<https://www.lesnumeriques.com/astronomie-conquete-spatiale/expansion-de-l-univers-la-tension-de-hubble-soulagee-par-une-bulle-de-vide-100011111.htm>
- J-Marc BONNET-BIDAUD, Thomas LEPELTIER « Big Bang, histoire critique d'une idée » Gallimard 2021 – pages 237-253
- Wikipedia :  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi\\_de\\_Hubble-Lema%C3%A9tre-C%C3%A9leste](https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Hubble-Lema%C3%A9tre-C%C3%A9leste)  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Big\\_Bang\\_\(hypoth%C3%A8se\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Big_Bang_(hypoth%C3%A8se))

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**