

Les galaxies



M51 – Galaxie du tourbillon

A deep-field image of galaxies, showing a dense population of stars and galaxies in various colors (blue, yellow, red) and shapes (spiral, elliptical, irregular) against a dark background. The text "DECOUVRIR LES GALAXIES" is overlaid in the center.

DECOUVRIR LES GALAXIES

Dès l'Antiquité, les philosophes tentèrent de saisir la nature de la bande lumineuse connue sous le nom de **Voie lactée**. Le philosophe grec **ANAXAGORE (500—428 av. J.-C.)** la concevait comme « l'effet de la lumière des astres qui ne sont pas offusqués par le Soleil ». De la même manière, **DEMOCRITE (450—370 av. J.-C.)** suggéra qu'elle était due à un grand nombre de petites étoiles.

ARISTOTE (384-342 av J.-C.), cependant, pensait que ce qu'on observait était la combustion d'une partie de l'air, enflammé par le mouvement des astres, impliquant donc qu'elle se trouvait dans la sphère sublunaire.

L'astronome perse **AL-BIRUNI (973 - 1048 apr. J.-C.)** réfuta lui aussi la proposition d'Aristote, en tentant de calculer la parallaxe de la Voie lactée, et en notant que puisqu'elle est nulle, elle doit se trouver à grande distance de la Terre, et donc hors de l'atmosphère. Il proposa également que la Voie lactée était une collection d'innombrables étoiles nébuleuses

Le terme « **GALAXIE** », issu du grec, signifie « **CERCLE LAITEUX** »



Dans la mythologie grecque, **Zeus** plaça son fils **Héraclès**, né de son union avec la mortelle **Alcmène**, sur le sein de son épouse **Héra** lorsqu'elle était endormie afin que le bébé devienne immortel en buvant son lait divin. Lorsque celle-ci se réveilla, elle se rendit compte qu'elle allaitait un bébé inconnu qu'elle repoussa, et un jet de lait aspergea le ciel, formant cette pâle bande lumineuse appelée « **Voie lactée** ».

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Galaxie>



RÉPLIQUE DE LA LUNETTE DE GALILEE

Michael Dunn — Travail personnel

En 1609, **GALILEE (1654-1642)**, apprenant l'existence d'une longue-vue construite par l'hollandais **LIPPERSHEY (1571-1619)**, construit sa première lunette, qu'il eut l'idée d'orienter vers le ciel.

En quelques semaines, il découvre la nature de la Voie lactée-composée d'une myriade de petites étoiles-, dénombre les étoiles de la constellation d'Orion et constate que certaines étoiles visibles à l'œil nu sont en fait des amas d'étoiles.

A N
ORIGINAL THEORY
O R
NEW HYPOTHESIS
O F T H E
U N I V E R S E,

Founded upon the
L A W S of N A T U R E,
AND SOLVING BY
MATHEMATICAL PRINCIPLES
T H E

General PHÆNOMENA of the VISIBLE CREATION;
AND PARTICULARLY

The V I A L A C T E A.

Compris'd in Nine Familiar LETTERS from the AUTHOR to his FRIEND.
And Illustrated with upwards of Thirty Graven and Mezzotinto Plates,
By the Best MASTERS.

By THOMAS WRIGHT, of DURHAM.

*One Sun by Day, by Night ten Thousand shine,
And light us deep into the DEITY.* Dr. YOUNG.

L O N D O N:
Printed for the AUTHOR, and sold by H. CHAPPELLE, in Grosvenor-Street.

MDCCL.



Thomas WRIGHT (1711-1786) publie en 1750 « Une théorie originale ou une nouvelle hypothèse sur l'univers » dans lequel il explique l'apparence de la Voie lactée comme étant un effet optique dû à l'immersion de la Terre dans une couche plate composée d'étoiles de faible luminosité.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Thomas_Wright_\(astronome\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Thomas_Wright_(astronome))

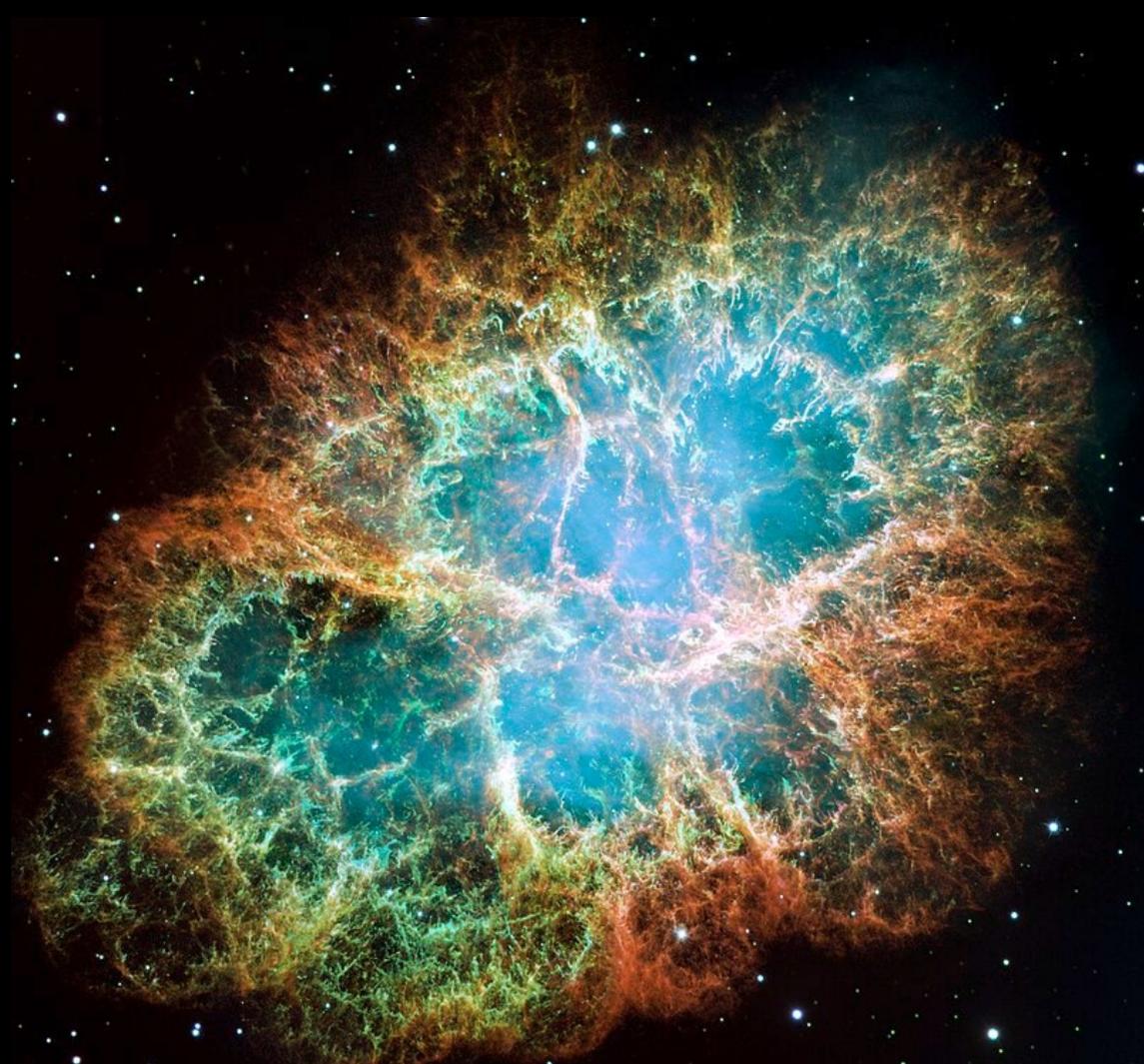
Les observateurs avaient noté différents objets nommés « **nébuleuses** » que **Charles MESSIER (1730-1817)** entreprit de référencer dans le « **Catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles** » paru en 1774, connu sous le nom de « **Catalogue Messier** ».

Chaque objet est identifié par la lettre M suivie d'un numéro d'ordre.

La **première édition** comportait **45 objets** dont le premier M1 était la Nébuleuse du Crabe, dans la constellation du Taureau Elle fut **complétée à 70 objets** dans un supplément de 1780.

La **troisième édition** de 1781 portait la catalogue à **103 objets**.

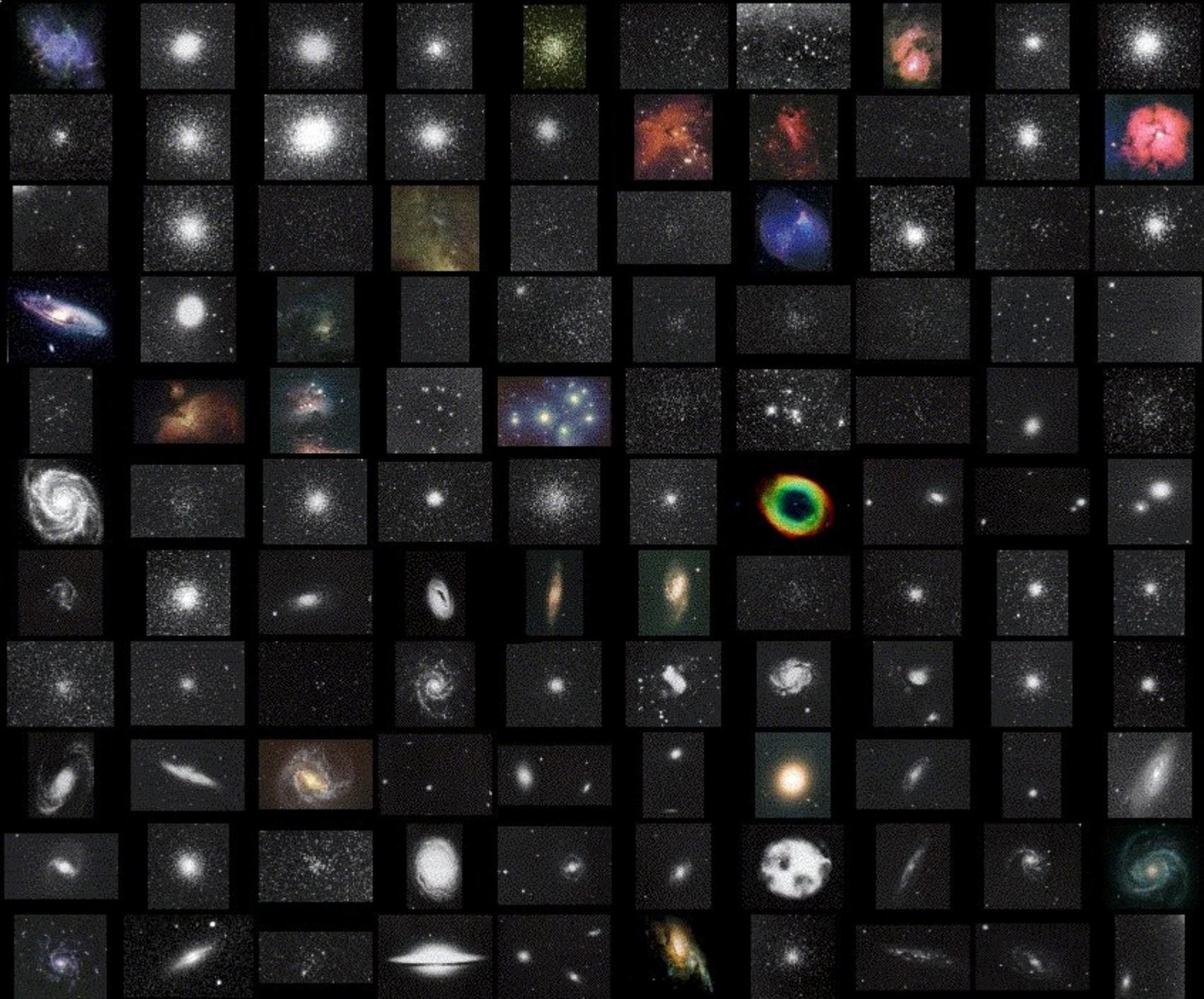
L'ajout des objets **M104 à M110** a été fait ultérieurement par d'autres auteurs (dont **Camille FLAMMARION** qui proposa un ajout jusqu'à M119), bien qu'ils aient pu être observés par MESSIER ou **Pierre MECHAIN (1744-1804)**.



M1 – Nébuleuse du Crabe

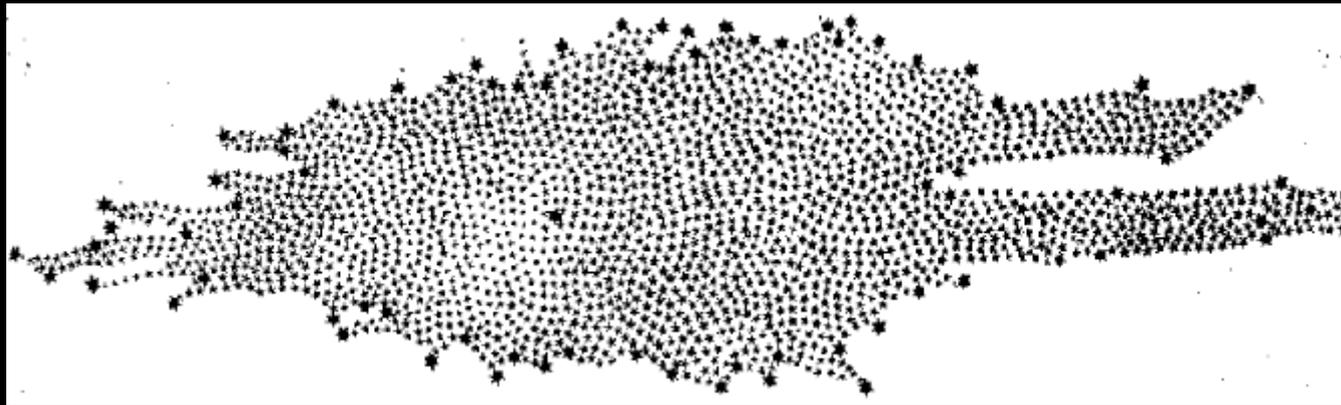
NASA,ESA-HubbleSite-Domaine public

LES 110 OBJETS MESSIER

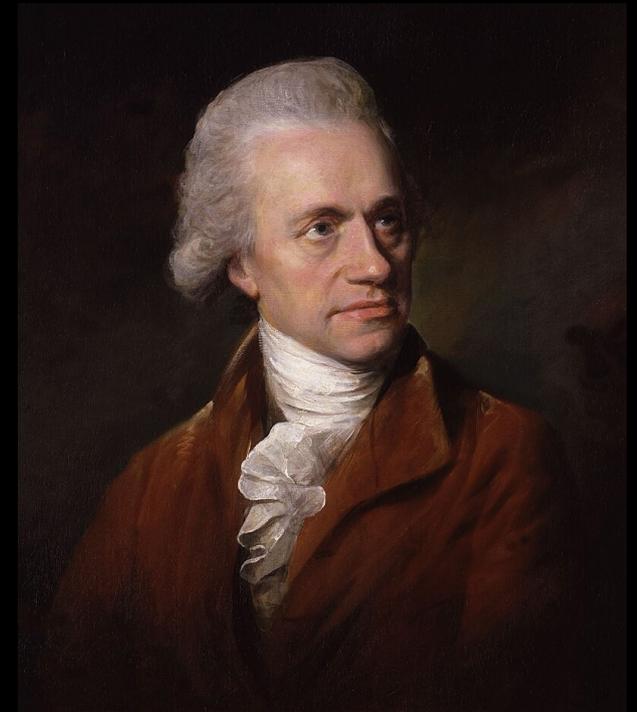


William HERSCHEL (1738-1822), aidé de sa sœur **Caroline (1750-1848)**, composa un catalogue de 5000 nébuleuses.

En **1785**, il fit une première tentative de description **la forme de la Voie lactée** en dénombrant les étoiles dans différentes régions du ciel. Il construit un schéma mettant le Soleil près du centre de la Voie lactée (hypothèse fautive selon les données actuelles)..



"On the Construction of the Heavens. By William Herschel,-Domaine public



Lemuel Francis Abbott-Domaine public

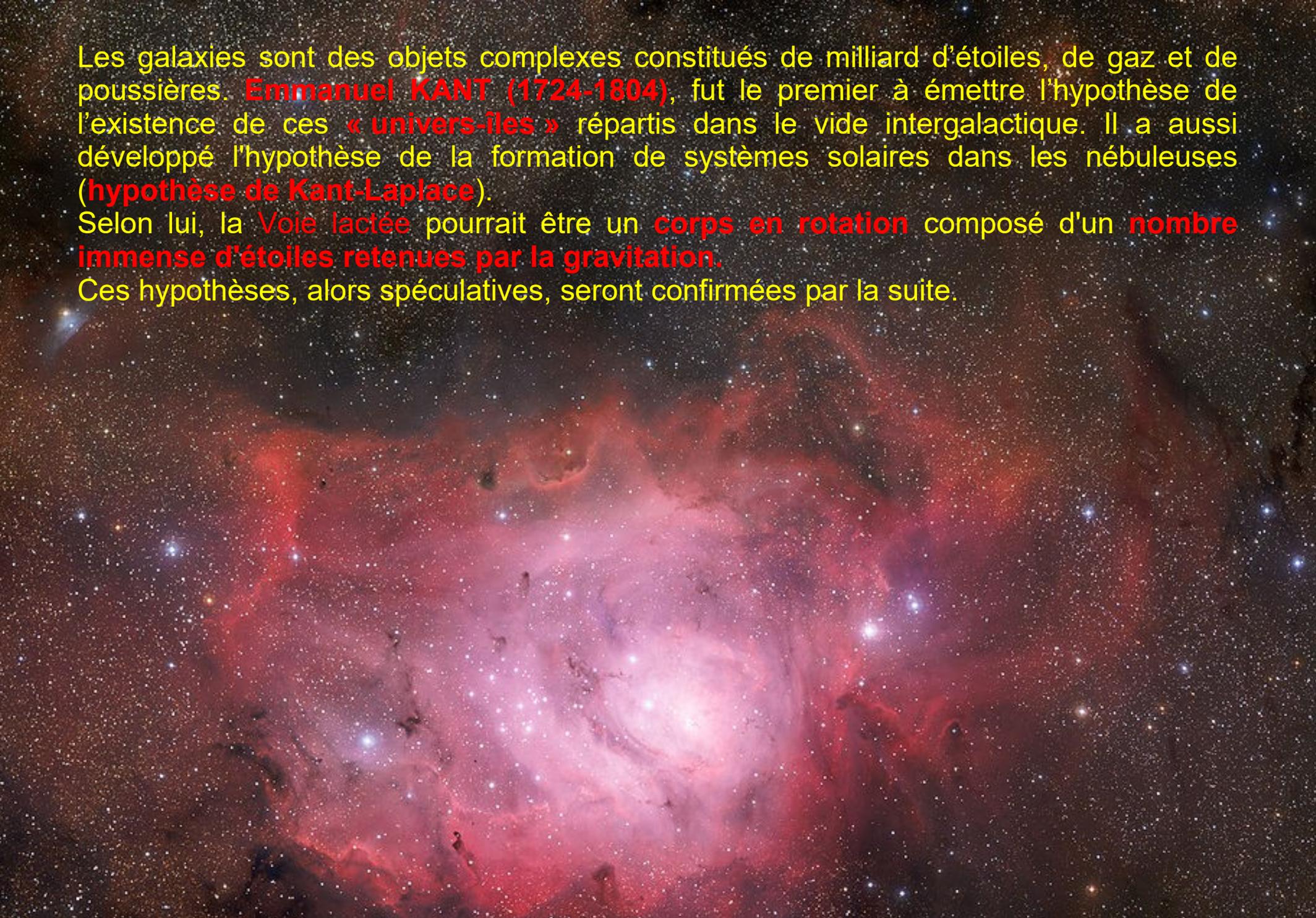


Melchior Gommard Tieleman-Domaine public

Les galaxies sont des objets complexes constitués de milliard d'étoiles, de gaz et de poussières. **Emmanuel KANT (1724-1804)**, fut le premier à émettre l'hypothèse de l'existence de ces « **univers-îles** » répartis dans le vide intergalactique. Il a aussi développé l'hypothèse de la formation de systèmes solaires dans les nébuleuses (**hypothèse de Kant-Laplace**).

Selon lui, la Voie lactée pourrait être un **corps en rotation** composé d'un **nombre immense d'étoiles retenues par la gravitation**.

Ces hypothèses, alors spéculatives, seront confirmées par la suite.



M8 – Nébuleuse de la Lagune (constellation du Sagitaire)

Dans les années 1920 allait s'instaurer le « **Grand débat** » sur la nature et la distance de ces nébuleuses (en fait des galaxies), et par suite de leur nature galactique ou extragalactique.

Les deux protagonistes de ce débat sont **Harlow SHAPLEY (1885-1972)** et **Heber Doust CURTIS (1872-1942)**. Le premier défend l'idée que l'Univers observable ne s'étend pas au-delà de la Voie lactée, le second défendant l'idée contraire, se basant en particulier sur l'observation de nova dans ce qui est aujourd'hui appelé la galaxie d'Andromède.

Le Grand Débat est clos en 1924 par **Edwin HUBBLE (1889-1953)** qui détecte des **céphéides** (étoiles variables pour lesquelles **Henrietta Swan LEAWITT (1868-1921)** en 1908, a établi une relation entre la luminosité des céphéides et le rythme de leurs pulsations, permettant ainsi d'estimer la distance nous séparant de ces objets) dans plusieurs nébuleuses (NGC 6822, M331, M32 et M31 notamment), permettant d'en mesurer la distance et donc de prouver la **nature extragalactique** de ces objets.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Grand_D%C3%A9bat_\(astronomie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Grand_D%C3%A9bat_(astronomie)).

SEQUENCE ou « DIAPASON » de HUBBLE



Ville Koistinen

Les galaxies peuvent être classées en **elliptiques, spirales (barrées ou non) ou irrégulières**.

À l'époque de la réalisation de sa classification, Hubble pensait que les différents types de morphologies galactiques correspondaient à un degré d'évolution variable de ces objets, partant d'un état sphérique sans structure (type E0), puis s'aplatissant progressivement (type E1 à E7), avant de produire les bras spiralés (types Sa, Sb, Sc, ou SBa, SBb, SBc). Cette hypothèse d'évolution a depuis été totalement invalidée

ELLIPTIQUE



ESO-325-G004

SPIRALE



M101 Moulinet
(Grande Ourse)

SPIRALE BARREEE



NGC1300 (Eridan)

**QUELQUES
EXEMPLES**

LENTICULAIRE

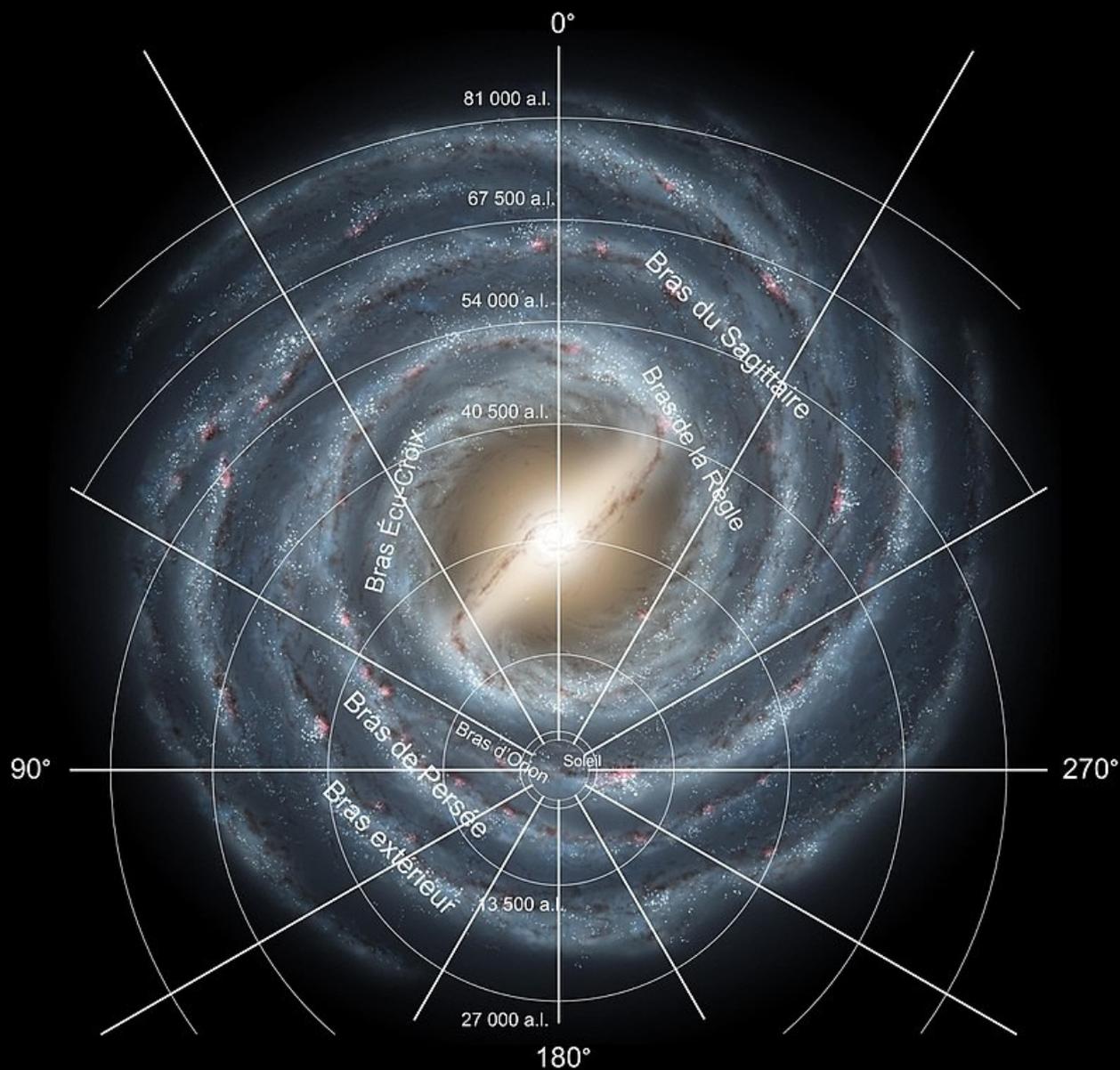


NGC5866 (Dragon)

IRREGULIERE



GRAND NUAGE DE
MAGELLAN



Auteur anonyme

Parmi ces nébuleuse, la **Voie Lactée ou Galaxie**, centrée dans la constellation du Sagitaire, une spirale de **type SBb** de **100 à 120 000 al de diamètre**, pour **1000 al d'épaisseur**, d'une masse estimée à environ **$2 \cdot 10^{11}$ masses solaires** (valeur déduite des observations du satellite **GAIA en 2023**)

Le **système solaire** est situé dans le « **bras d'Orion** » à environ **26 000 al** du centre galactique.

La Voie Lactée se serait formée il y a **13,2 milliards d'années**.

Comme toutes les galaxies spirales, elle est **en rotation** (vitesse radiale : env. **16 km/s**)



NAISSANCE DES GALAXIES



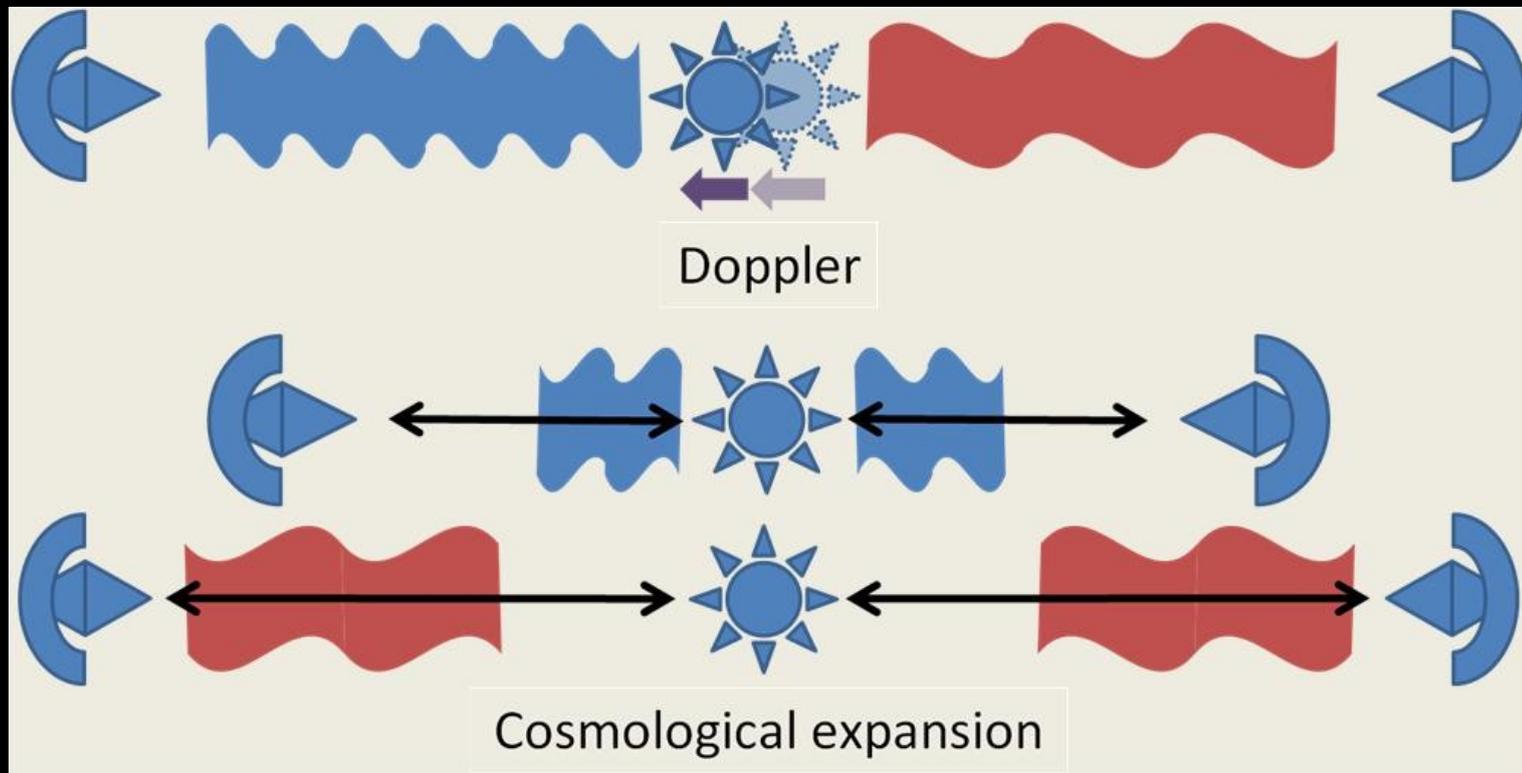
Le russe **Alexander Alexandrovitch FREIDMANN (1868-1925)** publie « **Sur la courbure de l'espace** » en 1922 : où il démontre que selon la valeur attribuée à la constante cosmologique dans l'équation d'EINSTEIN l'existence possible d'univers dont la courbure est constante par rapport aux 3 coordonnées 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)**, bati 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.

EINSTEIN jugea cette physique « **abominable** ».



©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 standard ») 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.

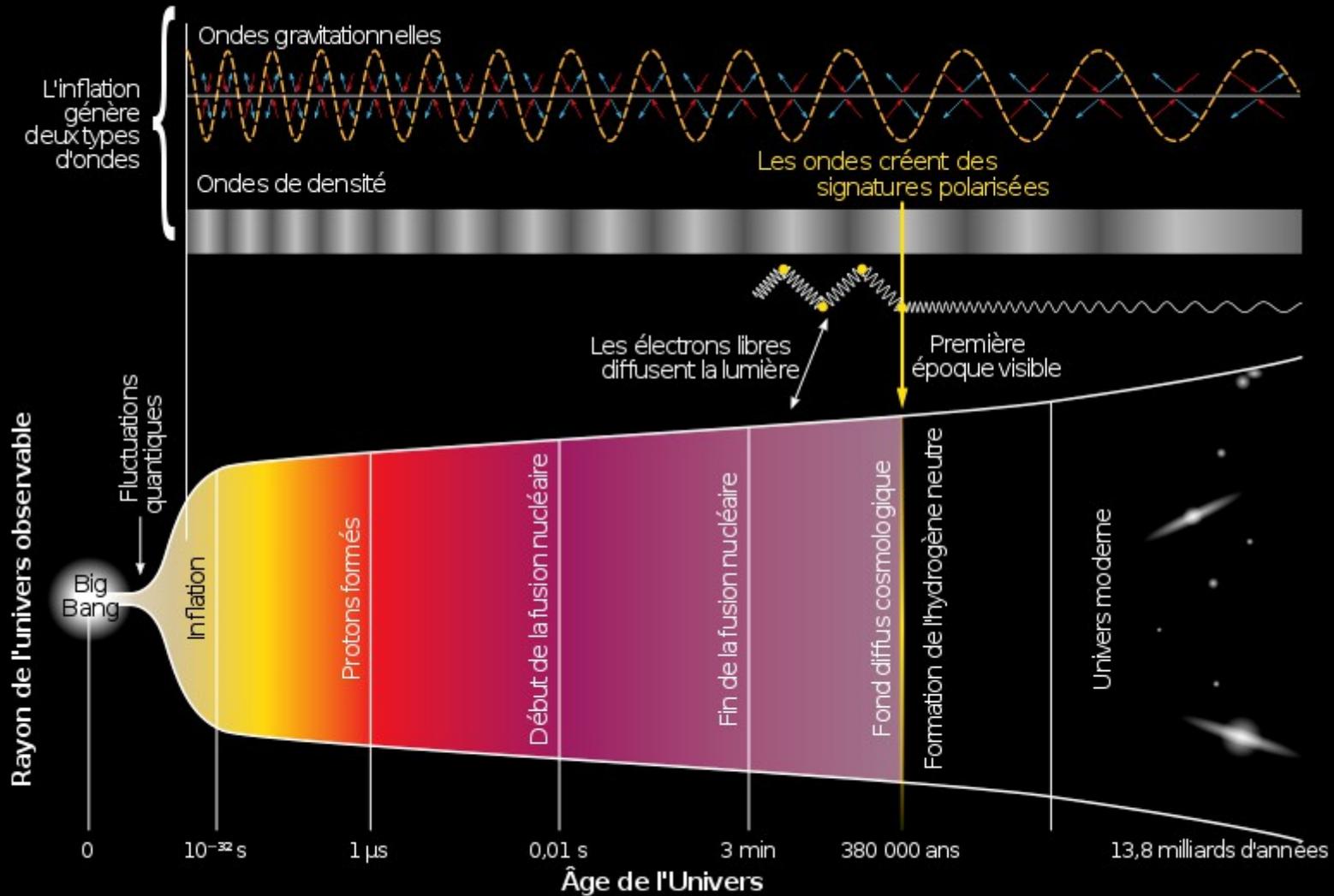
L'évolution de l'Univers est démontrée, son histoire peut maintenant être envisagée. Il suffit de « rembobiner » le film à l'envres.



Georges Lemaître émet en 1931 une « **hypothèse de l'atome primitif** », début temporel de l'Univers, sous forme d'un noyau extra-ordinairement dense et chaud, **singularité** de l'espace-temps. Cette théorie fut appelée ironiquement **Big Bang** par **Fred HOYLE (1915-2001)** en 1949, au cours d'une émission de radio, nom qui resta.

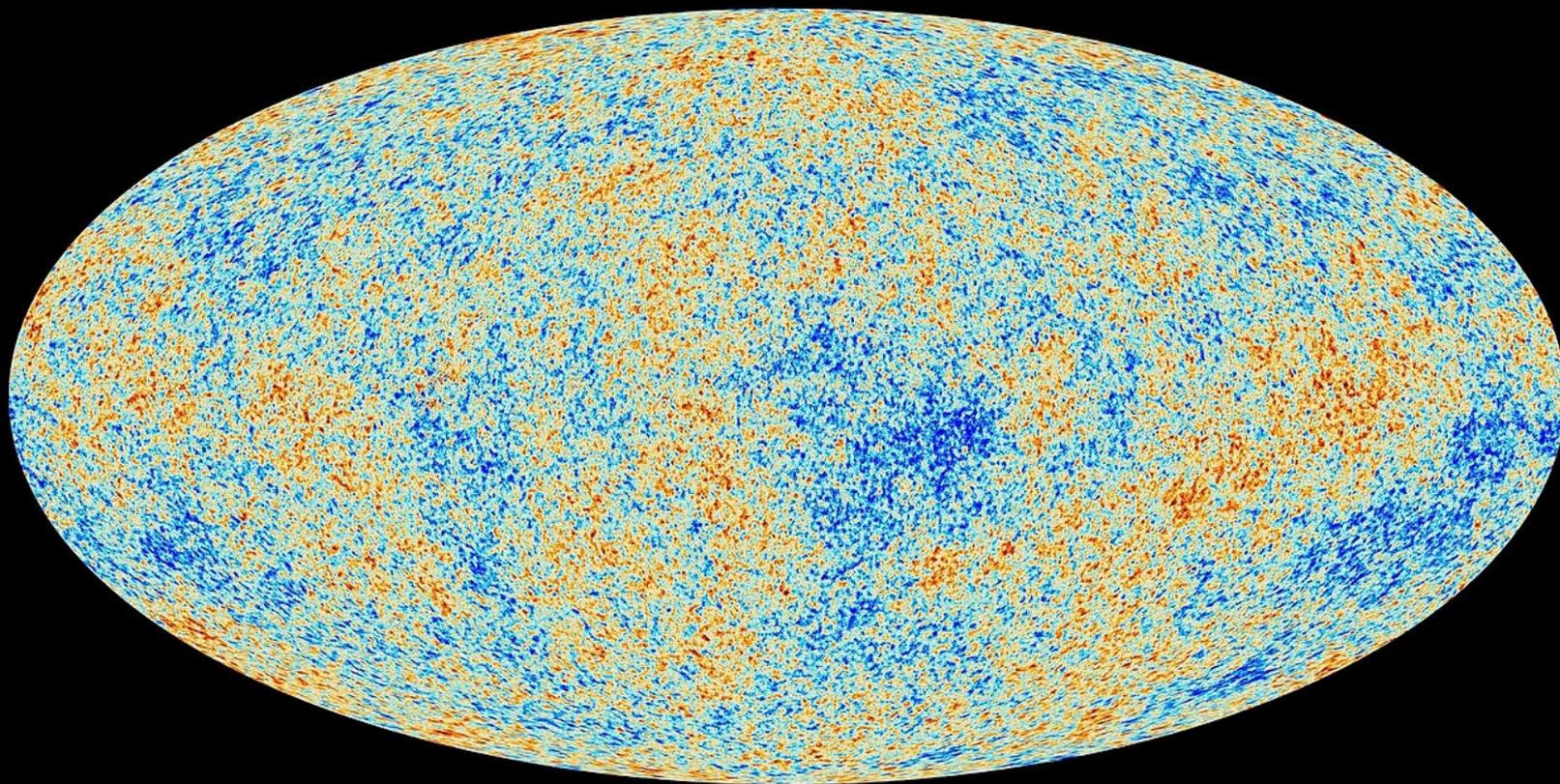
« [Lemaitre] fit savoir que son modèle parlait de commencement, qui est une notion physique, mais non de création qui est un concept philosophique »

Histoire de l'Univers



National Science Foundation

Dans l'hypothèse du Big Bang, l'Univers a un âge fini, que l'on déduit directement de son taux d'expansion. Dans les années 1940, le taux d'expansion de l'Univers était très largement surestimé, ce qui conduisait à une importante sous-estimation de l'âge de l'Univers.

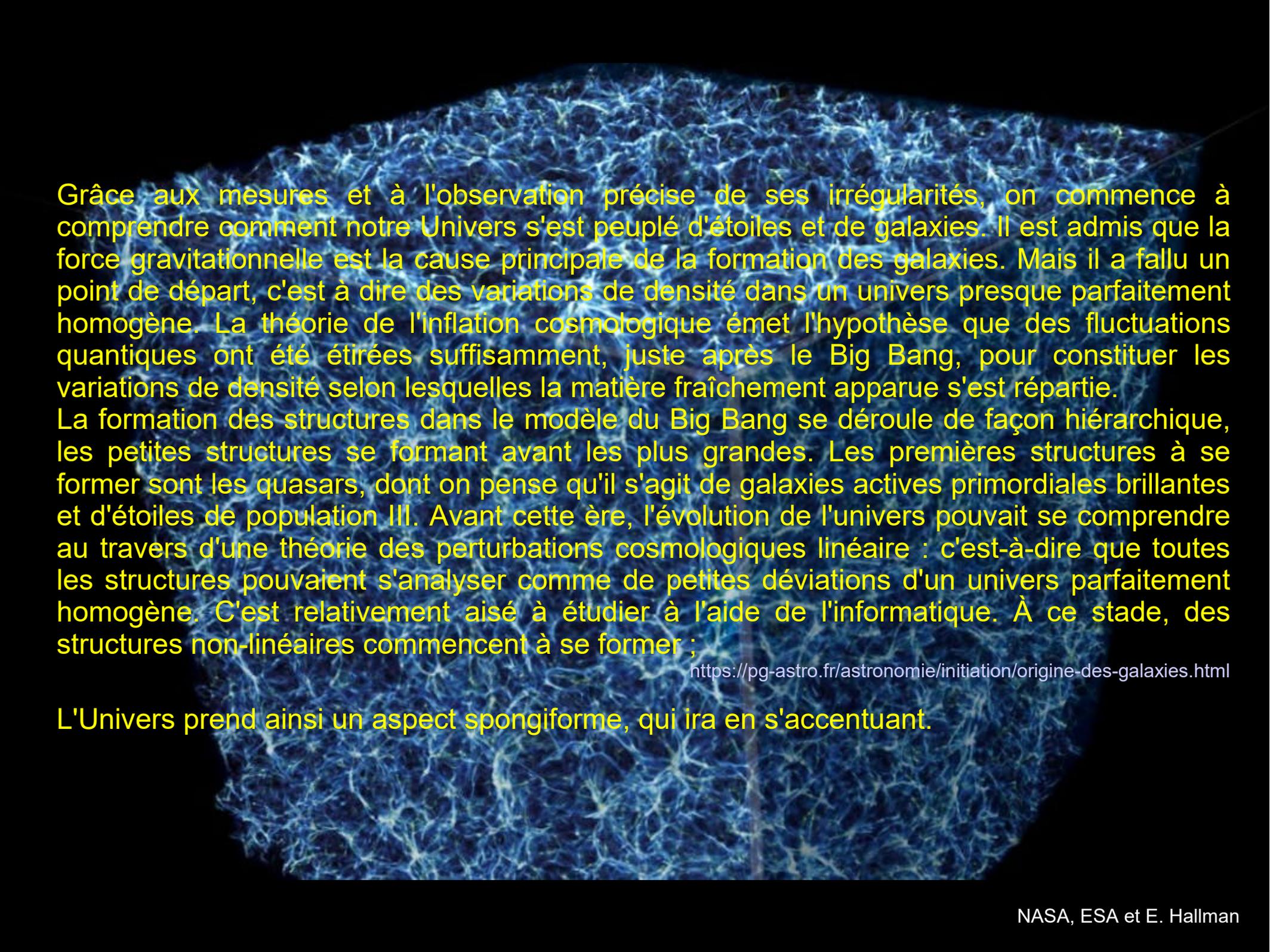


ESA and the Planck Collaboration

L'Univers doit être rempli d'un rayonnement qui perd de l'énergie du fait de l'expansion, selon un processus semblable à celui du décalage vers le rouge du rayonnement des objets astrophysiques distants.

Georges GAMOW (1904-1968) et ses collaborateurs prédisent l'existence d'un **fond diffus cosmologique** à 5°K. Son observation fut faite par **Arno PENZIAS (1933-2024)** et **Robert WILSON (1936-....)** en 1964.

Ces prédictions ont été largement confirmée par plusieurs missions spatiales (**COBE, WMAP, PLANCK**) d'où il ressort un fond diffus extrêmement **homogène et isotrope** (fluctuations de température inférieures à 10^{-5}) à une température de **2,7°K**.

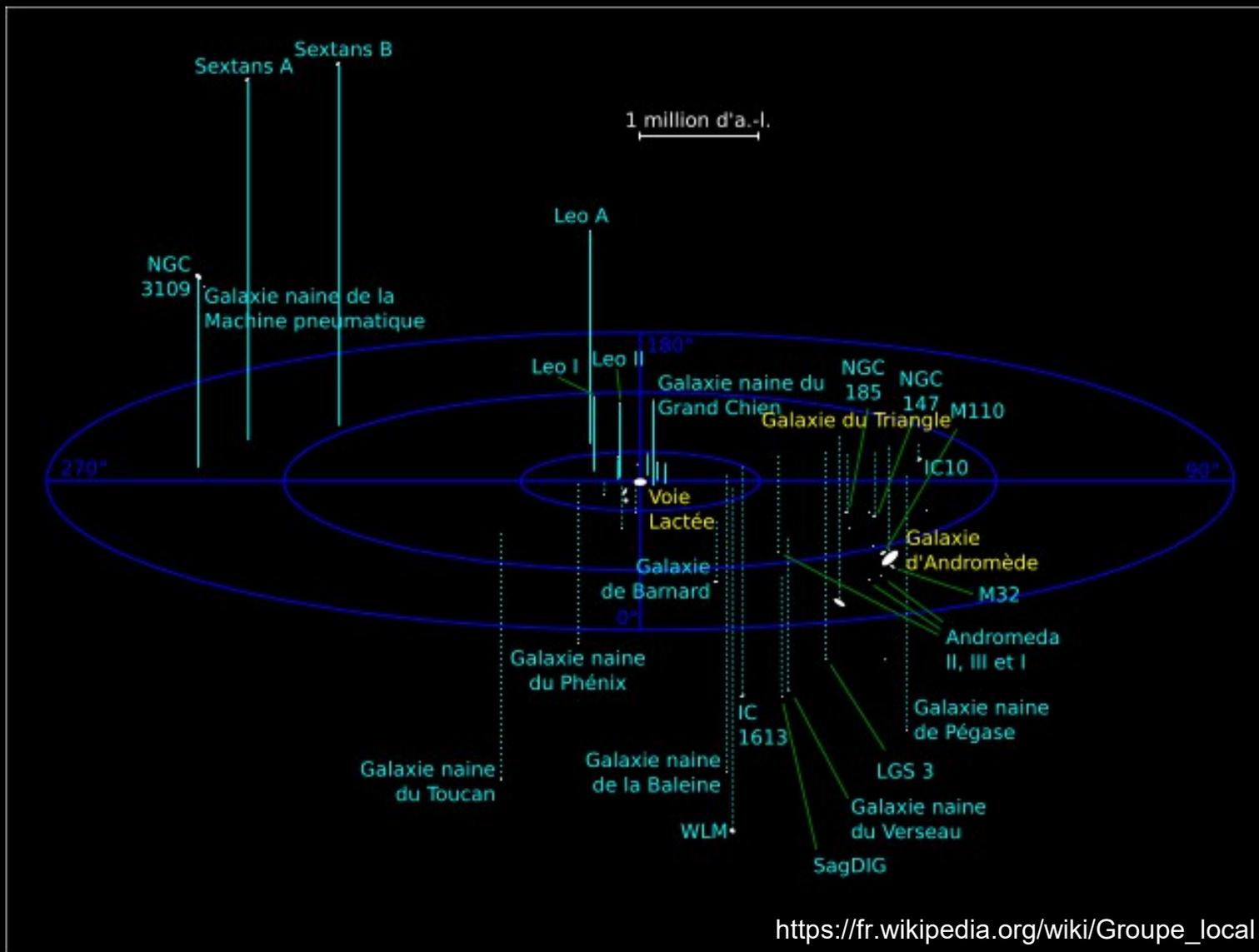


Grâce aux mesures et à l'observation précise de ses irrégularités, on commence à comprendre comment notre Univers s'est peuplé d'étoiles et de galaxies. Il est admis que la force gravitationnelle est la cause principale de la formation des galaxies. Mais il a fallu un point de départ, c'est à dire des variations de densité dans un univers presque parfaitement homogène. La théorie de l'inflation cosmologique émet l'hypothèse que des fluctuations quantiques ont été étirées suffisamment, juste après le Big Bang, pour constituer les variations de densité selon lesquelles la matière fraîchement apparue s'est répartie.

La formation des structures dans le modèle du Big Bang se déroule de façon hiérarchique, les petites structures se formant avant les plus grandes. Les premières structures à se former sont les quasars, dont on pense qu'il s'agit de galaxies actives primordiales brillantes et d'étoiles de population III. Avant cette ère, l'évolution de l'univers pouvait se comprendre au travers d'une théorie des perturbations cosmologiques linéaire : c'est-à-dire que toutes les structures pouvaient s'analyser comme de petites déviations d'un univers parfaitement homogène. C'est relativement aisé à étudier à l'aide de l'informatique. À ce stade, des structures non-linéaires commencent à se former ;

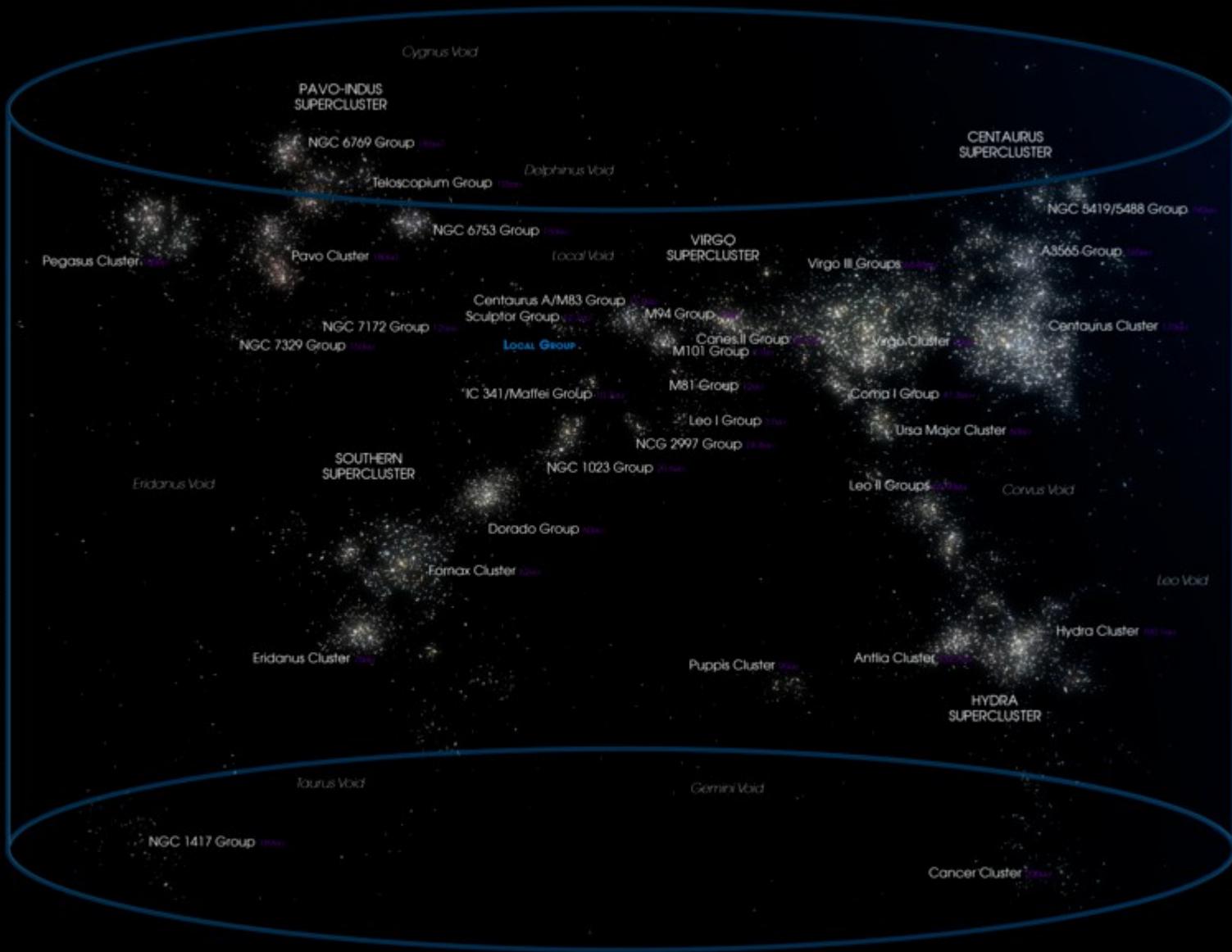
<https://pg-astro.fr/astromie/initiation/origine-des-galaxies.html>

L'Univers prend ainsi un aspect spongiforme, qui ira en s'accroissant.



Les galaxies font s'organiser en **amas** comme le **Groupe Local** auquel appartient la Voie lactée, qui compte environ 60 galaxies.

LANIAKEA



Andrew Z. Colvin — Travail personnel

Le Groupe Local est à son tour un membre du **Superamas Local**, appelé aussi **Superamas de la Vierge**, une superstructure qui s'étend sur environ 18,4 millions de parsecs. Lui-même fait partie d'un ensemble encore plus vaste nommé le **Superamas Laniakea** découvert en 2014

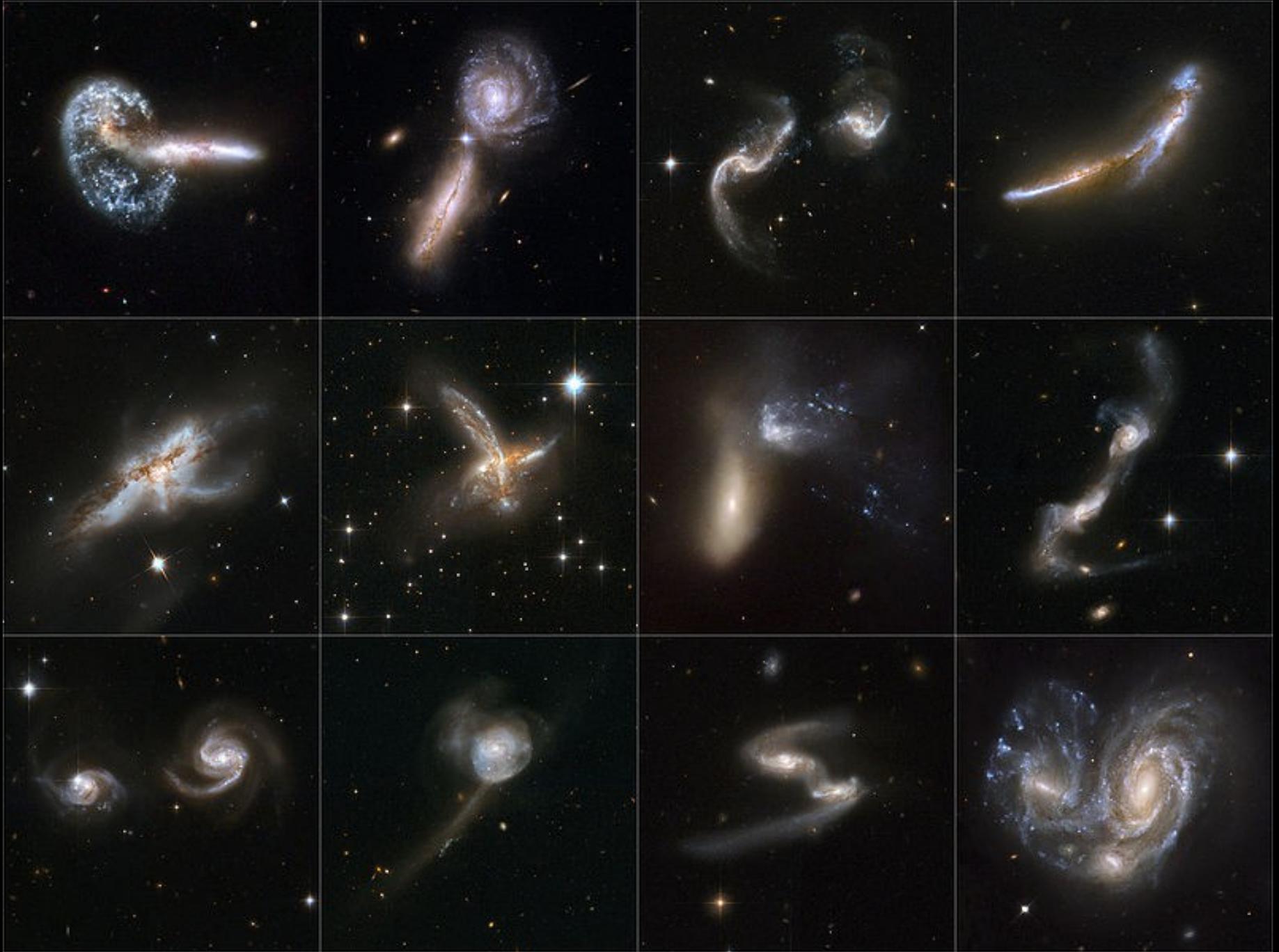


GALAXIES DES SOURIS (NGC 4676 A et B)

NASA, H. Ford (JHU), G. Illingworth (UCSC/LO), M. Clampin (STScI), G. Hartig (STScI), the ACS Science Team, and ESA

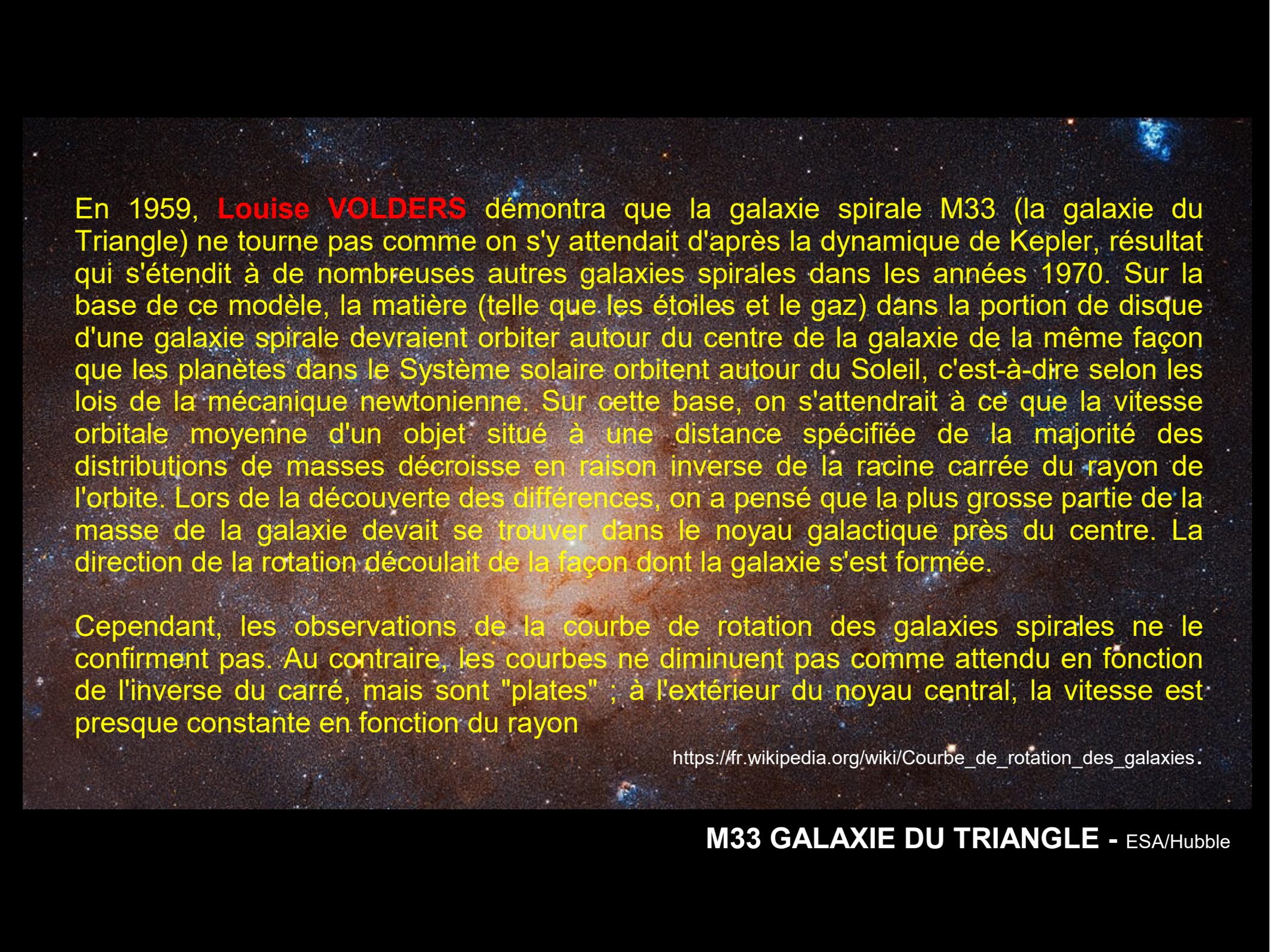
Le champ gravitationnel d'une galaxie peut en attirer ou déformer une autre, allant jusqu'à la collision des celles-ci, pouvant modifier leurs trajectoires et leurs formes, voire à les fusionner.

COLLISIONS DE GALAXIES (VUES PAR HUBBLE)



A field of galaxies, likely from the Sloan Digital Sky Survey. The background is dark, filled with numerous galaxies. A prominent, bright yellowish-white galaxy is located near the center. Surrounding it are many other galaxies, some appearing blue, which may indicate star formation or active galactic nuclei. The galaxies vary in size, shape, and orientation, showing a diverse population.

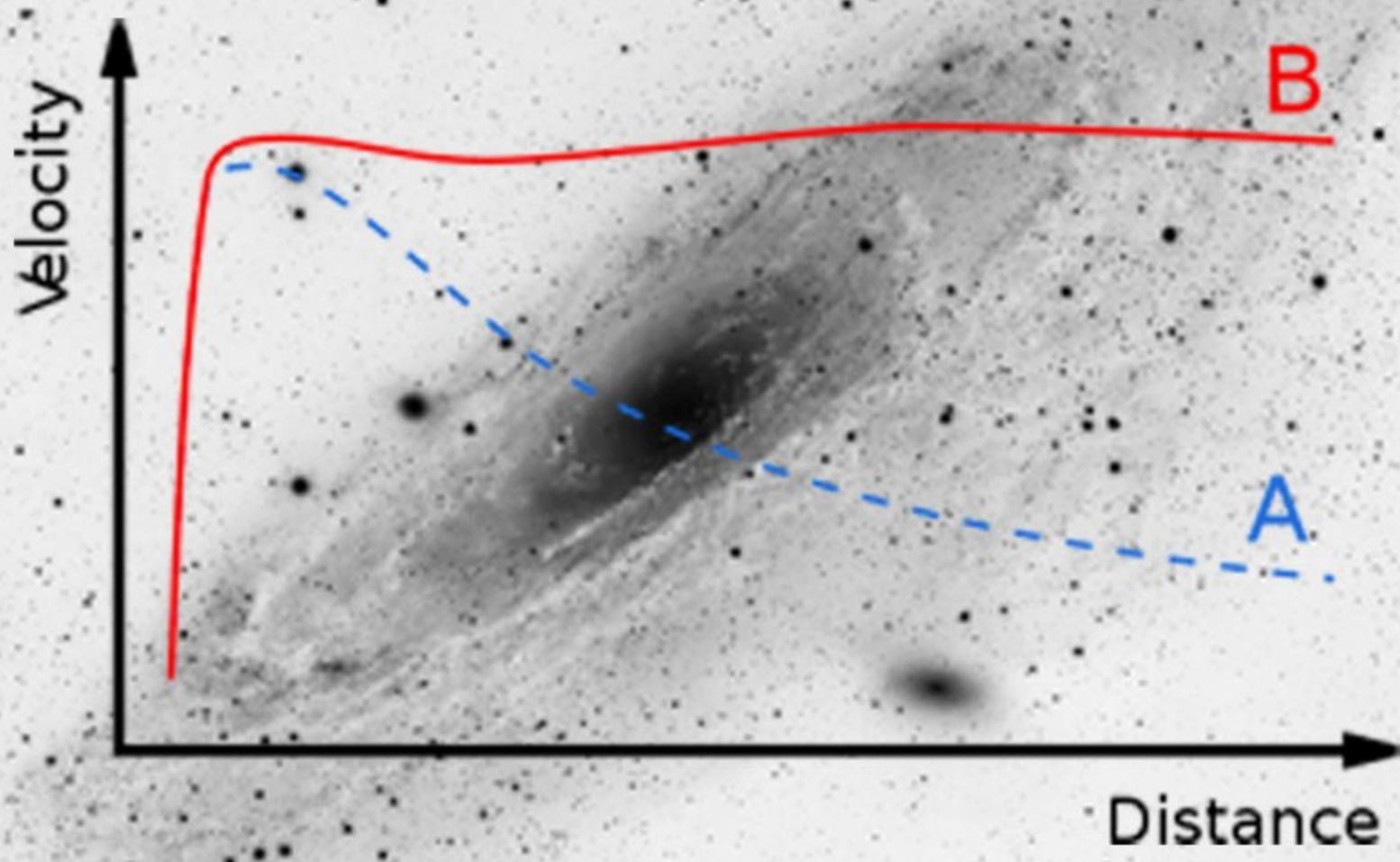
ROTATION DES GALAXIES



En 1959, **Louise VOLDERS** démontra que la galaxie spirale M33 (la galaxie du Triangle) ne tourne pas comme on s'y attendait d'après la dynamique de Kepler, résultat qui s'étendit à de nombreuses autres galaxies spirales dans les années 1970. Sur la base de ce modèle, la matière (telle que les étoiles et le gaz) dans la portion de disque d'une galaxie spirale devraient orbiter autour du centre de la galaxie de la même façon que les planètes dans le Système solaire orbitent autour du Soleil, c'est-à-dire selon les lois de la mécanique newtonienne. Sur cette base, on s'attendrait à ce que la vitesse orbitale moyenne d'un objet situé à une distance spécifiée de la majorité des distributions de masses décroisse en raison inverse de la racine carrée du rayon de l'orbite. Lors de la découverte des différences, on a pensé que la plus grosse partie de la masse de la galaxie devait se trouver dans le noyau galactique près du centre. La direction de la rotation découlait de la façon dont la galaxie s'est formée.

Cependant, les observations de la courbe de rotation des galaxies spirales ne le confirment pas. Au contraire, les courbes ne diminuent pas comme attendu en fonction de l'inverse du carré, mais sont "plates" ; à l'extérieur du noyau central, la vitesse est presque constante en fonction du rayon

https://fr.wikipedia.org/wiki/Courbe_de_rotation_des_galaxies.



L'explication qui nécessite l'ajustement fin aux lois physiques de l'Univers est celle de l'existence d'une quantité substantielle de matière éloignée du centre des galaxies qui n'émet aucune lumière dans le rapport masse/lumière du noyau central. Les astronomes proposent l'idée que cette masse supplémentaire soit due à la **matière noire** dans le halo galactique, formant un halo de matière noire, dont l'existence fut initialement postulée par **Fritz ZWICKY (1898-1974)** quelque quarante années plus tôt dans son étude sur des masses des amas de galaxies. De nos jours, il existe un grand nombre d'éléments de preuves observationnelles qui mettent en évidence la présence de matière noire froide, et son existence est une composante majeure du modèle Λ CDM qui décrit la cosmologie de l'Univers.

Il existe des tentatives pour trouver des solutions alternatives à la matière noire pour expliquer les courbes de rotation des galaxies. L'une des plus discutée est la **théorie MOND** (de l'anglais **Modified Newtonian Dynamics**), proposée à l'origine comme une explication phénoménologique depuis 1983 par **Mordehai MILGROM (1946- ...)**, qui repose sur une modification de la seconde loi de Newton aux accélérations très faibles.

La modification proposée par Milgrom est la suivante : au lieu de $F = m a$, il postule que l'on a :

$$F = m \mu (a / a_0) a \text{ et}$$

$$\mu (x) = 1 \text{ si } x \gg 1$$

$$\mu (x) = x \text{ si } | x | \ll 1$$

Le terme a_0 étant supposé être une nouvelle constante de la physique ayant la dimension d'une accélération et de l'ordre de $10^{-10} \text{ m s}^{-2}$.

Selon plusieurs sources Wikipedia

NGC 4038

MERCI DE VOTRE ATTENTION

NGC 4039

GALAXIES DES ANTENNES (NGC 4038 et 4039)

1'
Powered by Aladin

7.294' x 5.305'

