

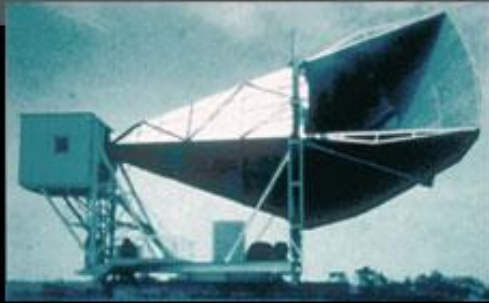
La grande saga de l'Univers



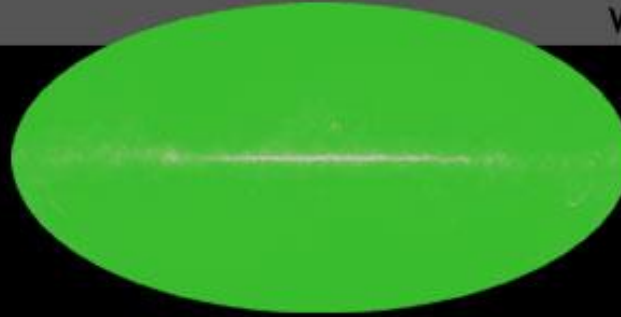
Rappels historiques

- En 1922, Alexandre Friedmann imagine que l'Univers a été dans le passé plus petit, plus chaud et plus dense.
- En 1927, George Lemaître imagine que l'Univers a eu une naissance « ponctuelle ».
- En 1929, Edwin Hubble découvre la fuite des galaxies ; on parle alors d'expansion de l'Univers.
- Le terme « Big Bang » est né le 28 mars 1949 sur les ondes de la BBC, dans une émission de vulgarisation scientifique où le physicien Fred Hoyle, pour se moquer de la théorie de « l'atome primitif », invente cette expression !
- En 1965, Robert Wilson et Arno Penzias découvrent le fond diffus cosmologique.

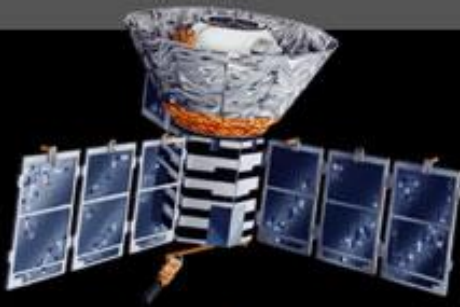
1965



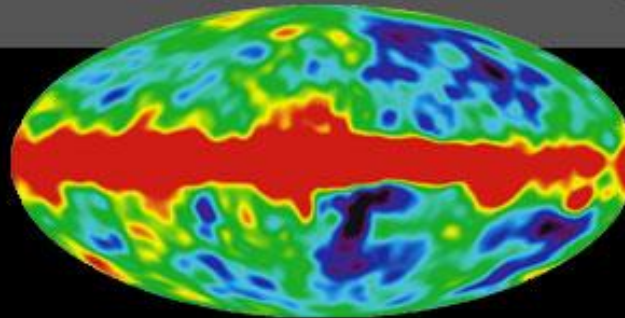
Penzias and
Wilson



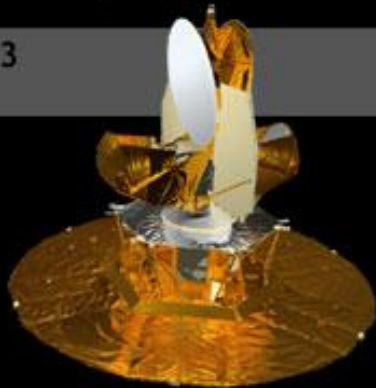
1992



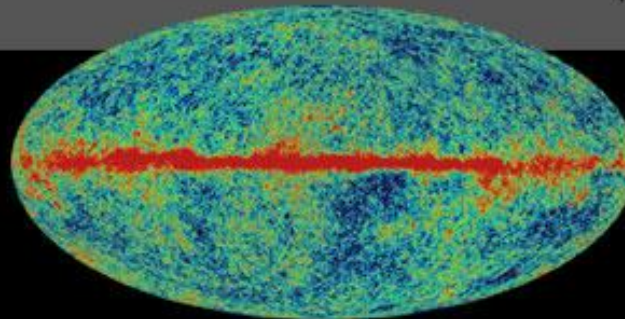
COBE



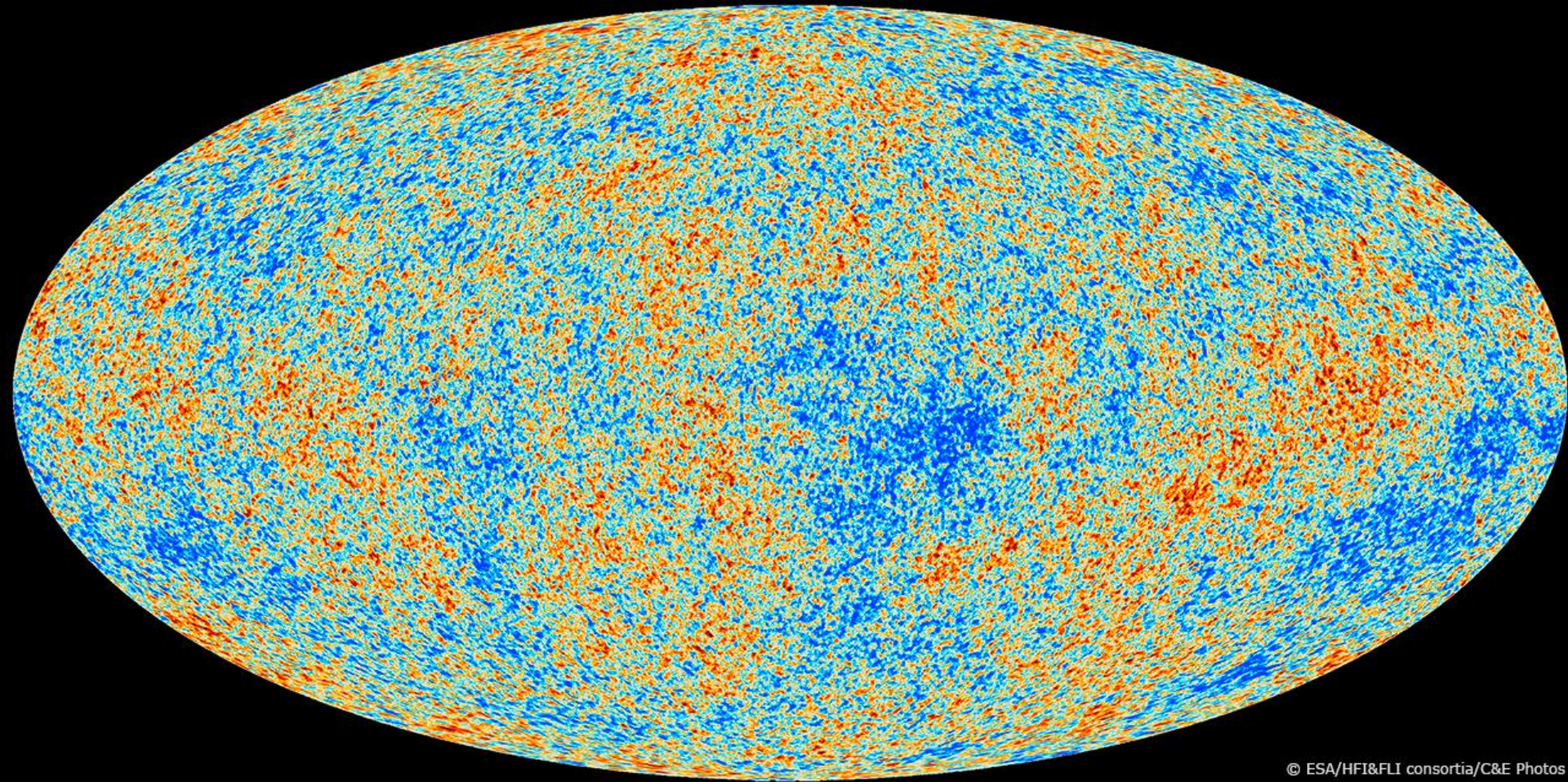
2003




WMAP



2013 Planck



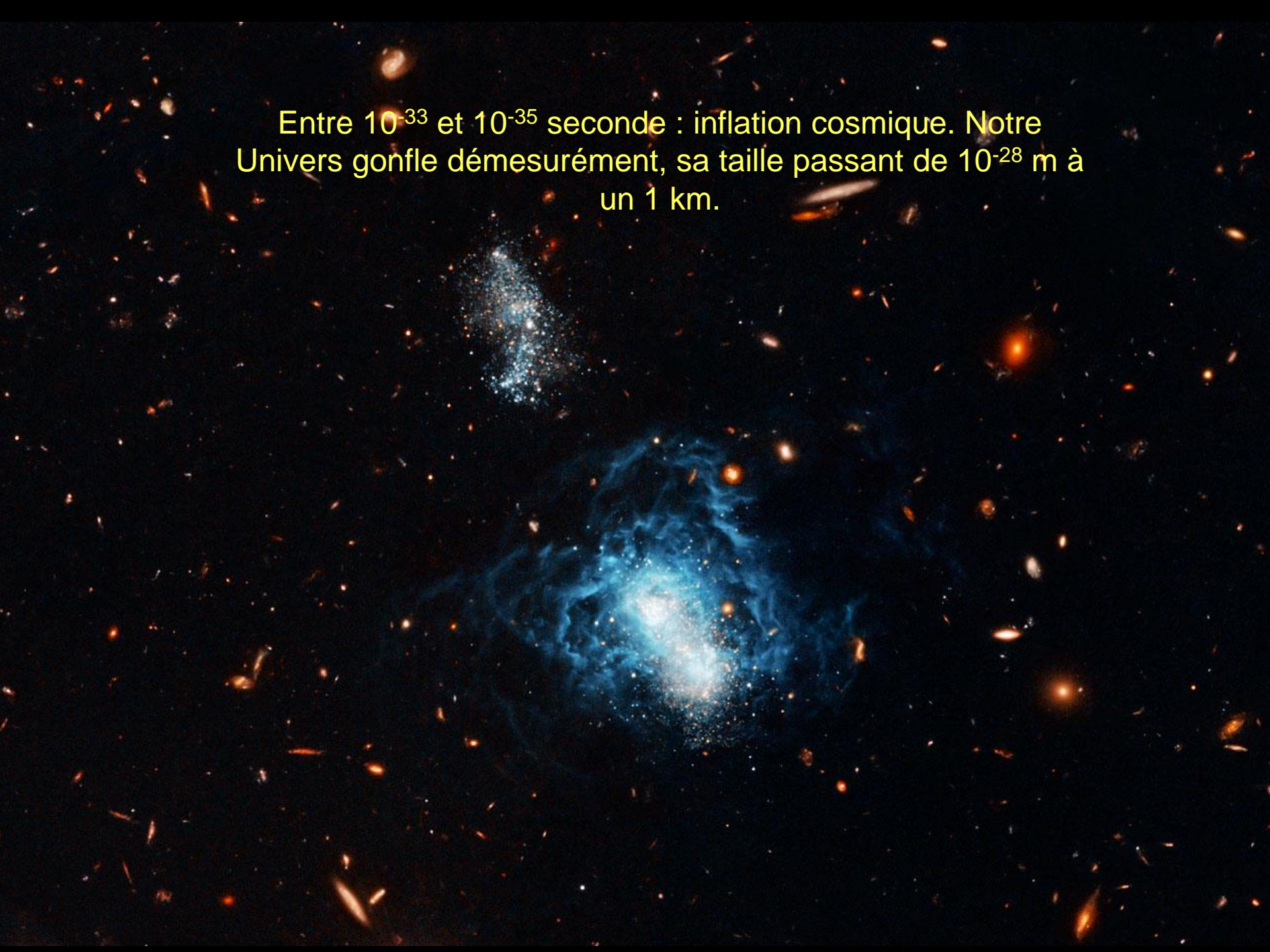
© ESA/HFI&FLI consortia/C&E Photos

A deep space photograph showing a vast field of galaxies and stars against a dark background. The image is filled with numerous galaxies of various shapes and sizes, including spiral, elliptical, and irregular forms. The colors range from bright yellow and white to deep reds and blues. The stars are scattered throughout, some appearing as bright points of light with diffraction spikes, while others are fainter. The overall scene is a rich and complex representation of the universe's structure.

10^{-43} seconde (temps de Planck) : le point de départ du modèle du Big Bang. Que c'est-il passé avant ? La question n'a pas de sens dans le cadre de la théorie quantique.

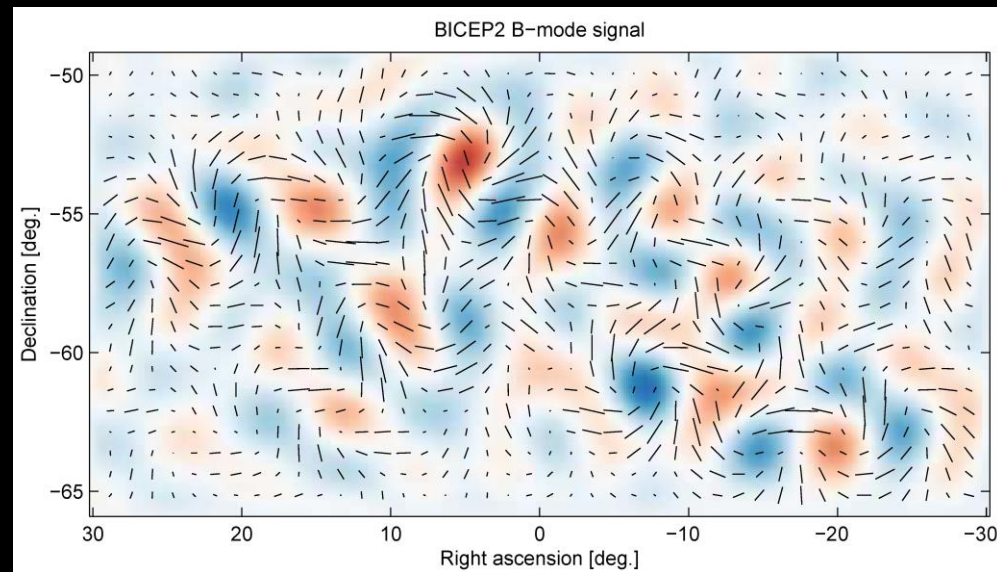
A ce moment, la taille de l'Univers serait d'environ 10^{-28} m.

Entre 10^{-33} et 10^{-35} seconde : inflation cosmique. Notre Univers gonfle démesurément, sa taille passant de 10^{-28} m à un 1 km.



La preuve de l'inflation ?

Le 17 mars 2014 : l'expérience BICEP2 aurait détecté des ondes gravitationnelles primordiales, émises 380 000 ans le Big Bang, par la polarisation de la lumière fossile.



Entre 10^{-33} et 10^{-12} seconde : le « zoo des particules ». Une multitude de particules (quarks, électrons, neutrinos) et d'antiparticules se forment et disparaissent aussitôt.

A 10^{-12} seconde, notre Univers mesure moins d'un millions de kilomètre et contient déjà les particules élémentaires de notre monde actuel.



$T = 10^{-6}$ seconde : la température de l'Univers a chuté à 10^{15} K et il mesure environ 100 milliards de kilomètre. Cette température empêche les quarks de se combiner pour former des protons et des neutrons stables.

Les particules de matière acquièrent leur masse via le boson de Higgs.





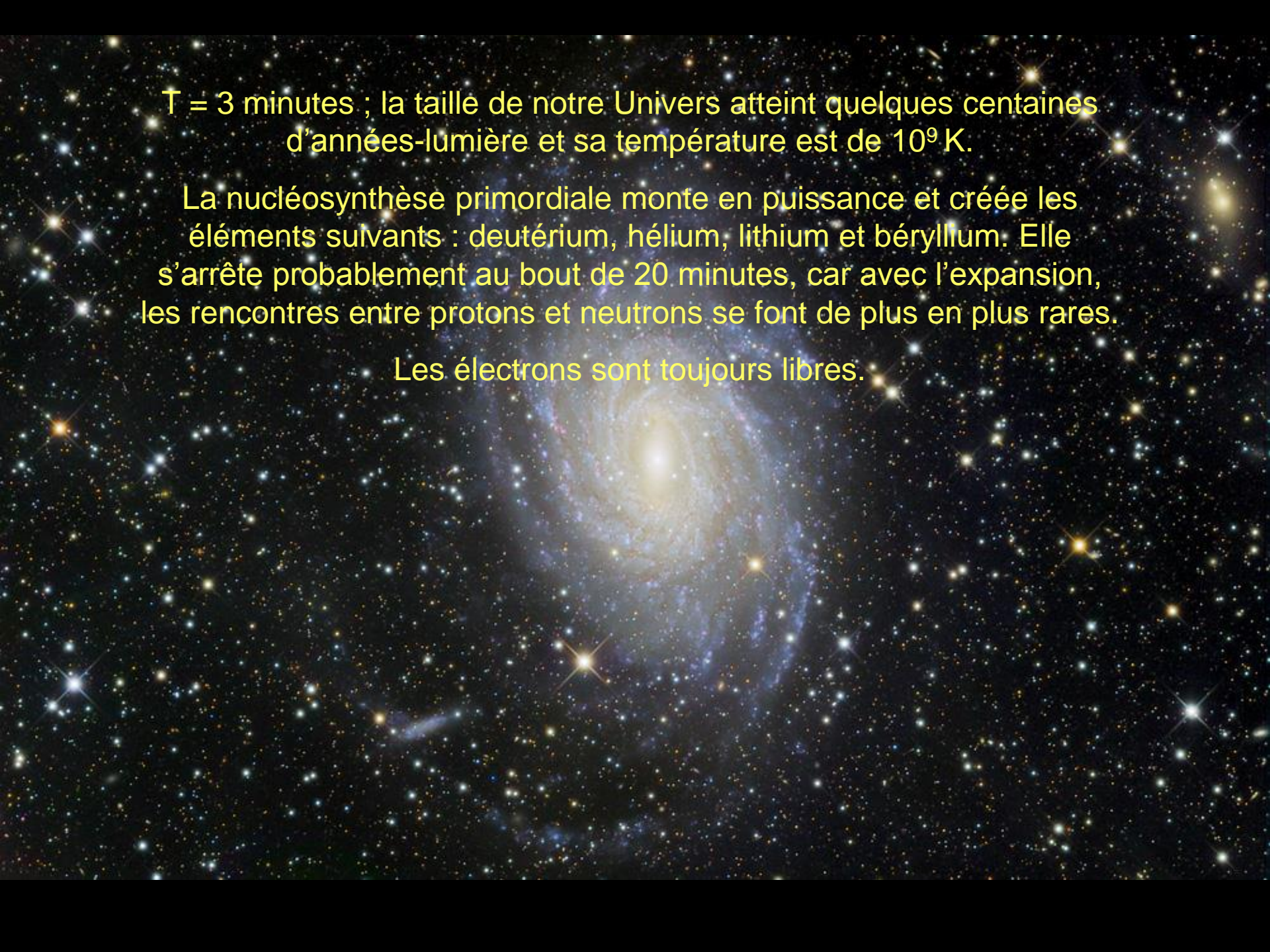
Entre 10^{-6} et 10^{-4} seconde, la température n'est plus que de 10^{12} K.
Les quarks peuvent se lier entre eux et donner naissance aux premiers protons et neutrons

Une seconde après le Big Bang, la température chute à 10^{10} K et permet l'apparition de l'hydrogène.

$T = 3$ minutes ; la taille de notre Univers atteint quelques centaines d'années-lumière et sa température est de 10^9 K.


La nucléosynthèse primordiale monte en puissance et crée les éléments suivants : deutérium, hélium, lithium et béryllium. Elle s'arrête probablement au bout de 20 minutes, car avec l'expansion, les rencontres entre protons et neutrons se font de plus en plus rares.

Les électrons sont toujours libres.



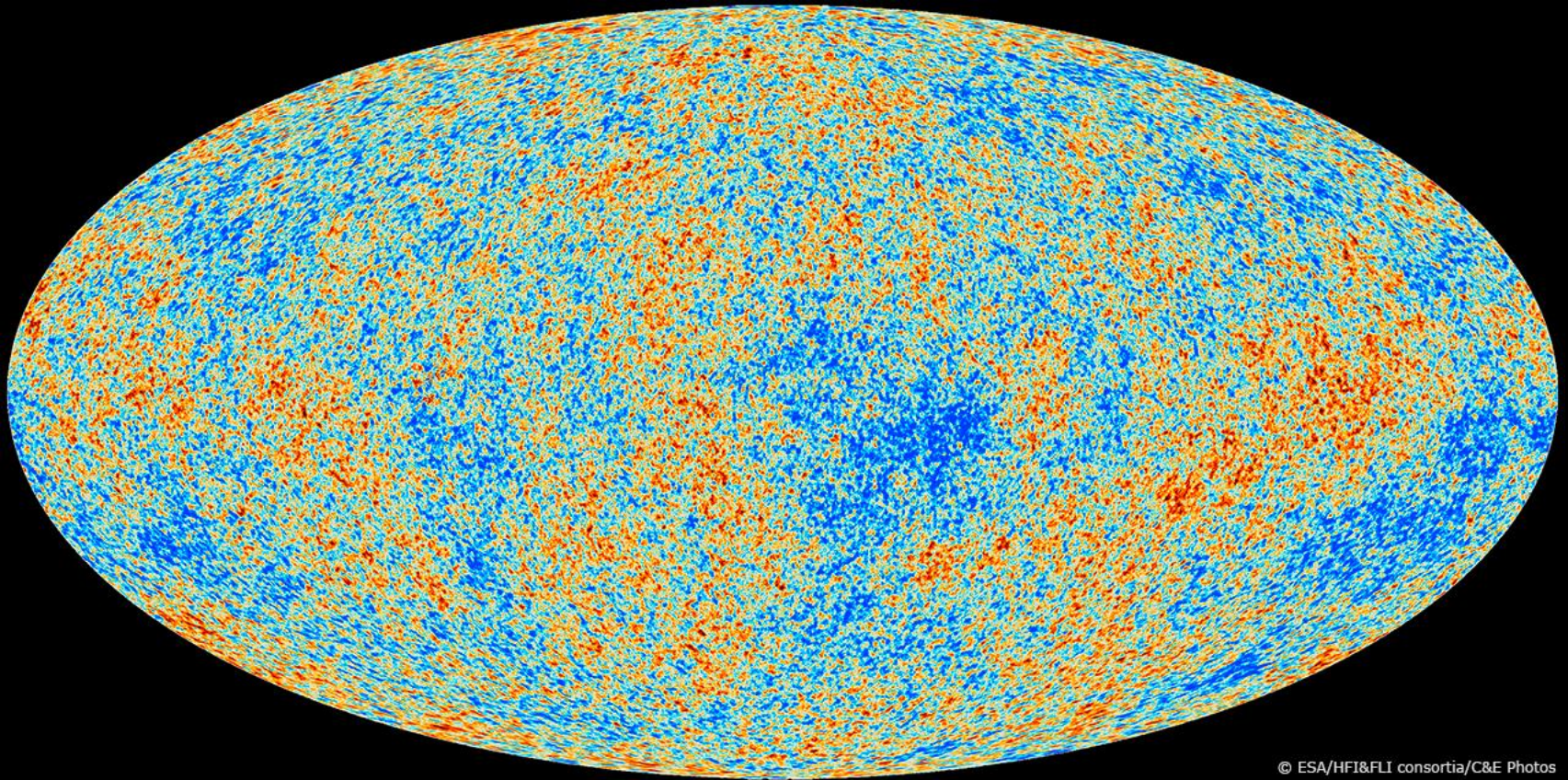
Entre 20 minutes et 380000 ans, l'Univers poursuit son expansion et son refroidissement. Les photons sont présents, mais constamment absorbés par les électrons. L'univers est toujours opaque





T= 380000 ans : l'expansion se poursuit. La force électromagnétique rentre en jeu : les électrons sont capturés par les noyaux, ce qui permet aux photons de pouvoir se déplacer normalement. L'Univers devient visible !

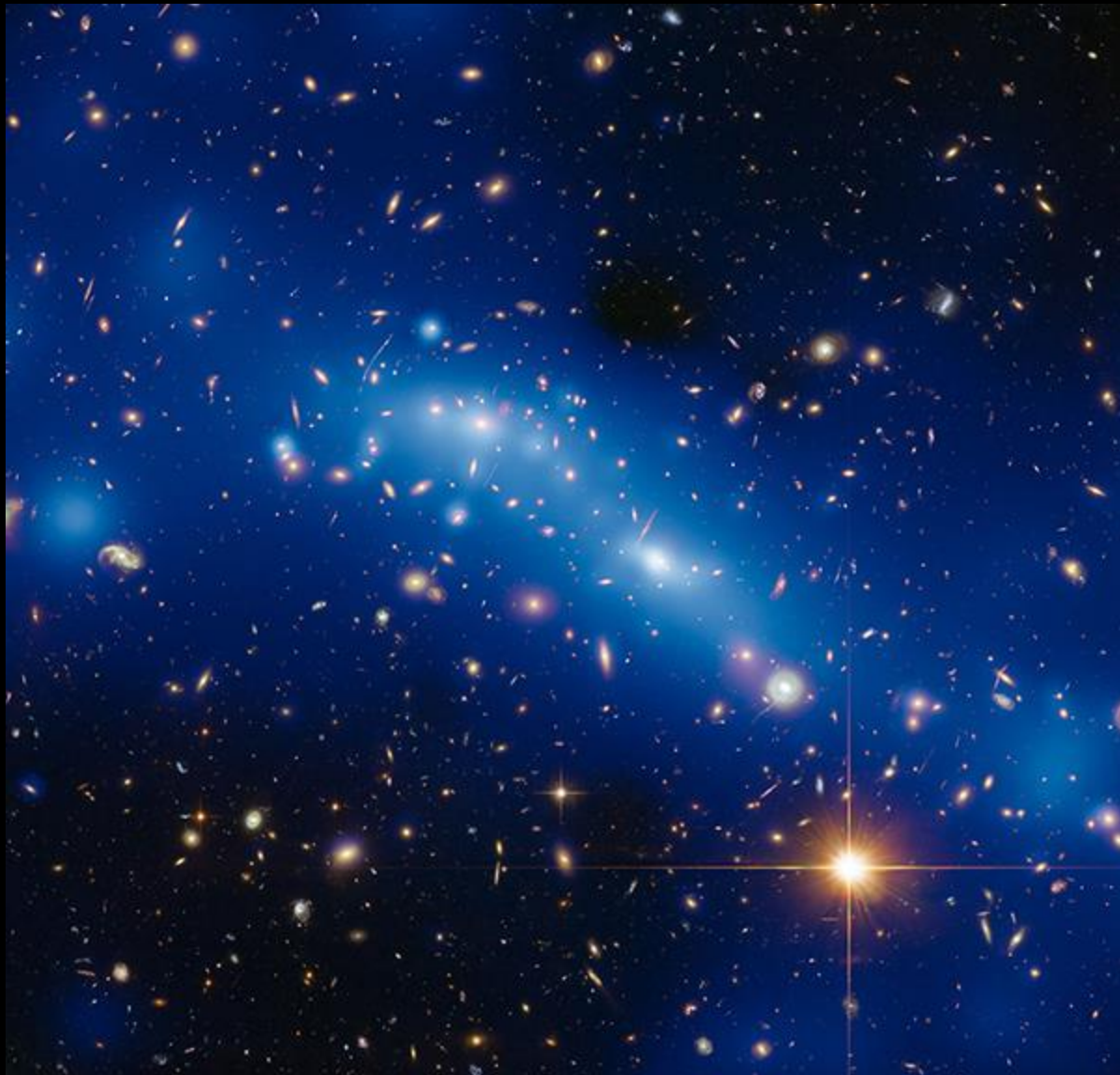
T = 380 000 ans : le rayonnement fossile « s'installe ». La gravitation, jusque là absente, entre en jeu. Les filaments de matières donnant naissances aux futures protogalaxies et protoamas de galaxies sont là.



© ESA/HFI&FLI consortia/C&E Photos

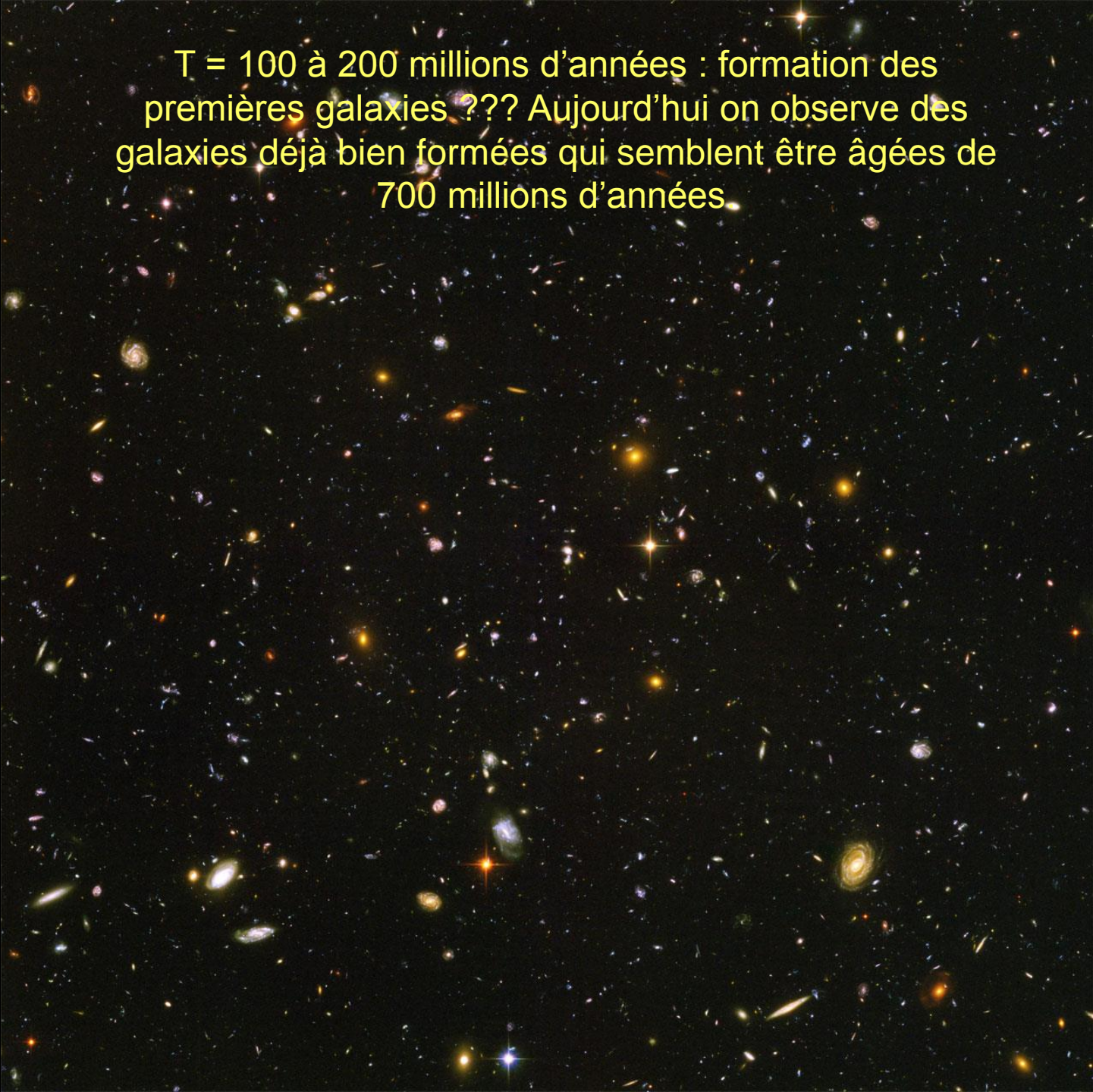
Le fond diffus cosmologique
cartographié par Planck

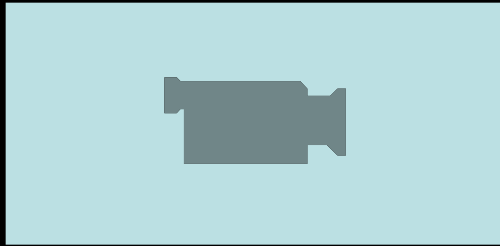
- 4 % de matière baryonique
(protons, neutrons)
- 26% de matière noire
- 70% d'énergie noire

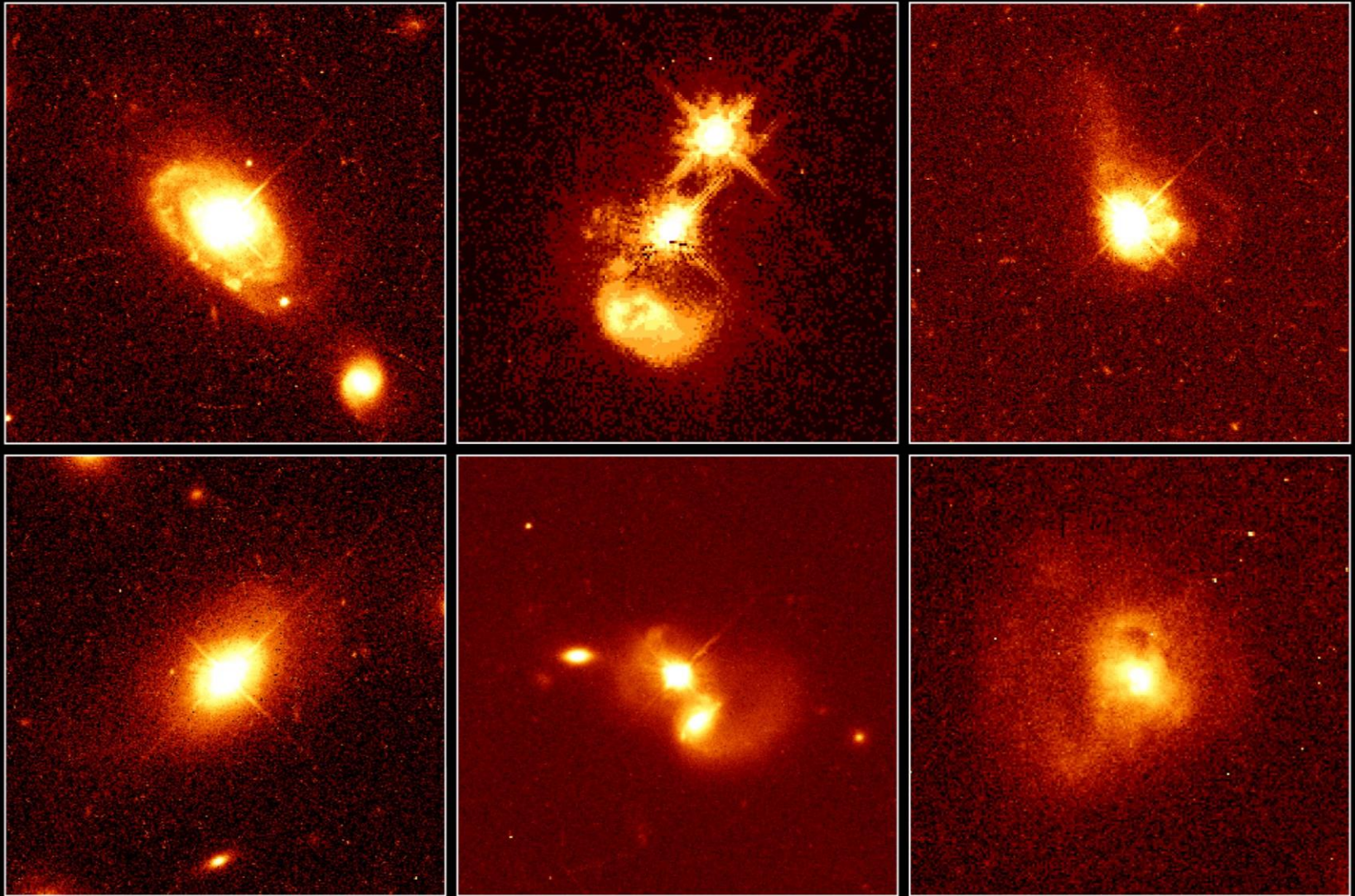


Mise en évidence de la matière noire autour d'un amas de galaxies

T = 100 à 200 millions d'années : formation des premières galaxies ??? Aujourd'hui on observe des galaxies déjà bien formées qui semblent être âgées de 700 millions d'années.







Quasar Host Galaxies

Hubble Space Telescope • Wide Field Planetary Camera 2

Quelques centaines de millions d'années après le Big Bang, les collisions entre galaxies sont très nombreuses

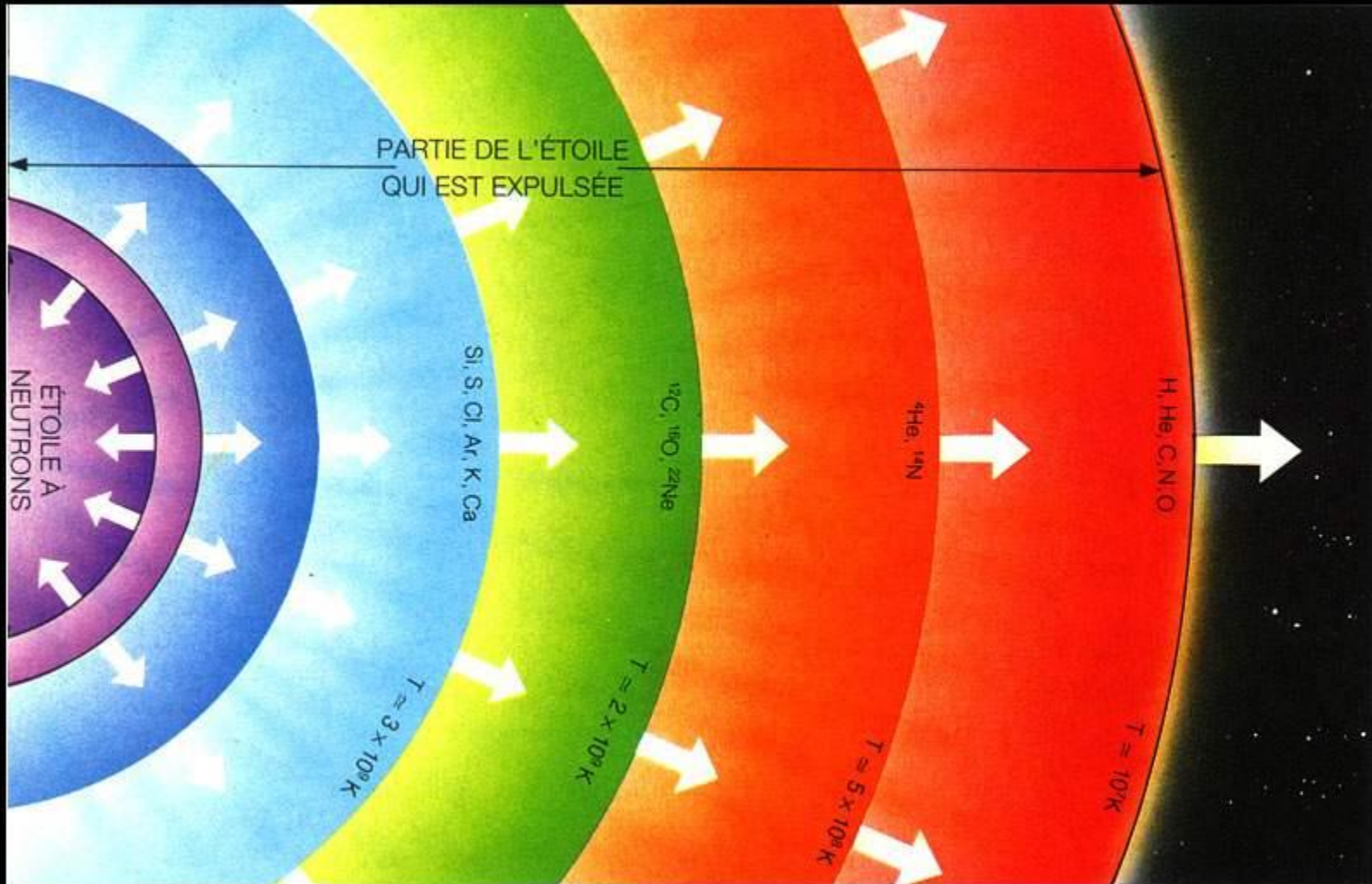


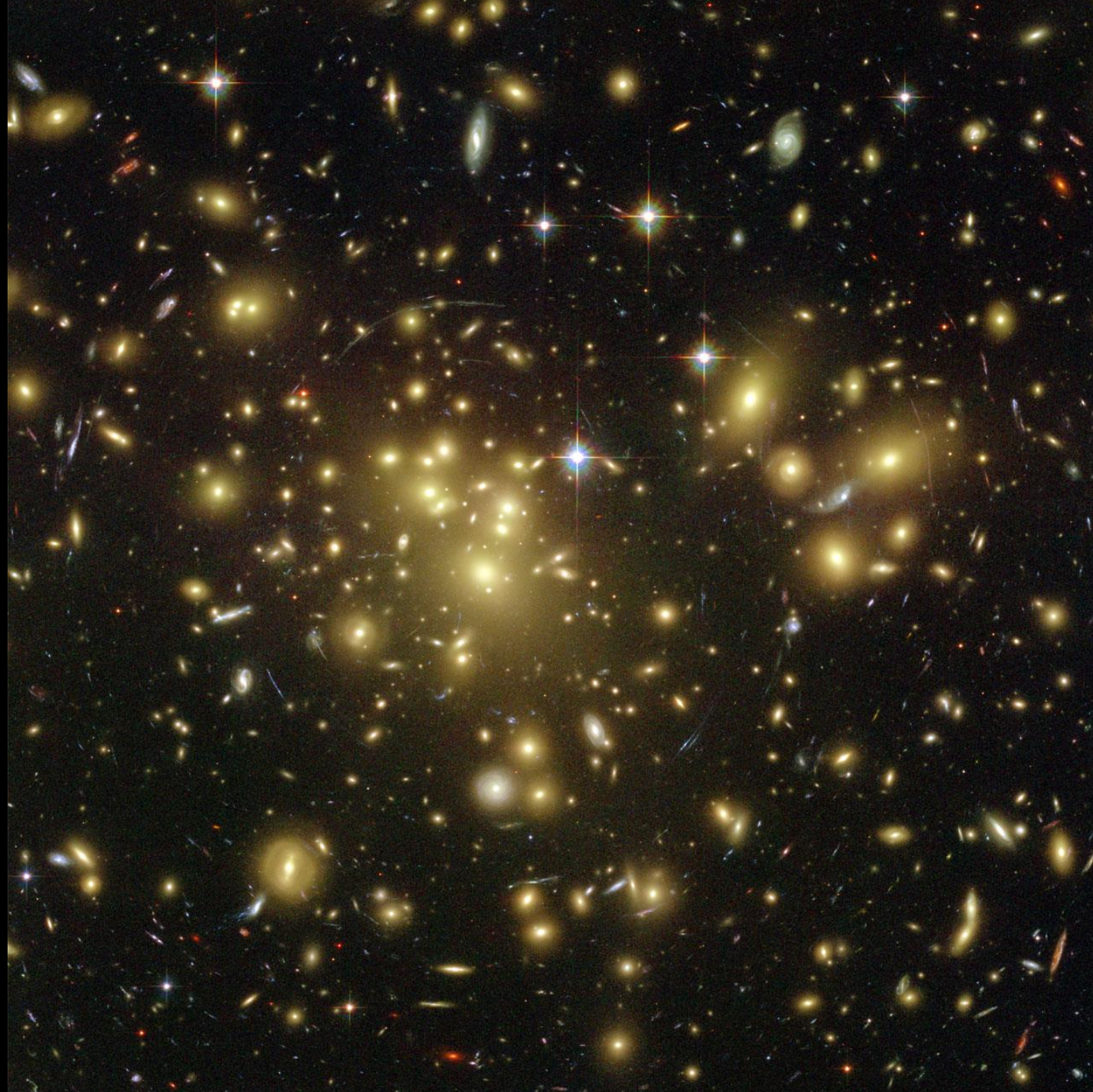


Dans les galaxies, de très nombreuses
nébuleuses vont donner naissance aux
premières générations d'étoiles.



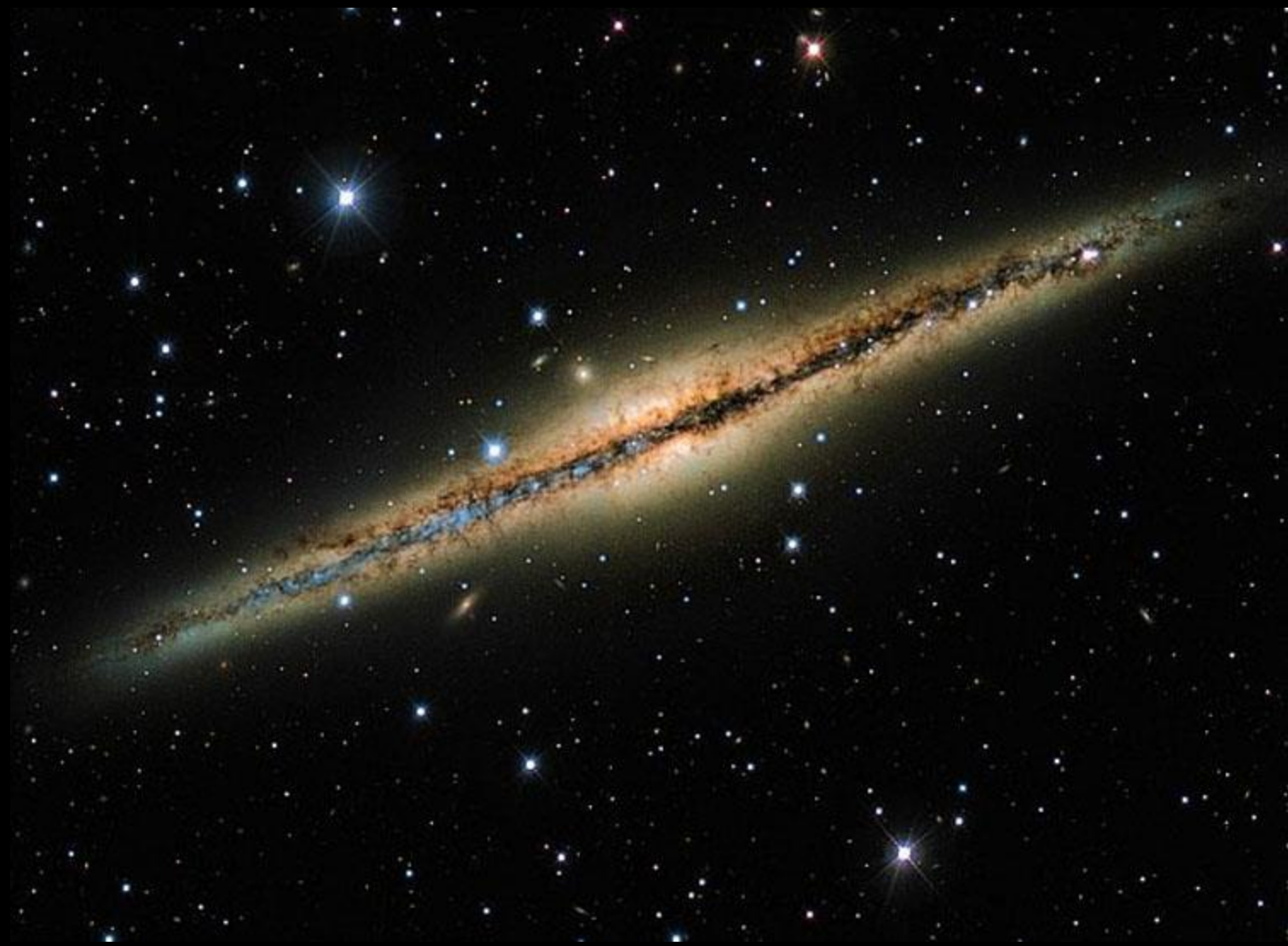
Les étoiles de première génération sont bien souvent des étoiles supermassives dont la durée de vie est de quelques millions d'années. En se transformant en supernova, elles synthétisent les éléments les plus élaborés qui ensemencent l'Univers : la nucléosynthèse stellaire.



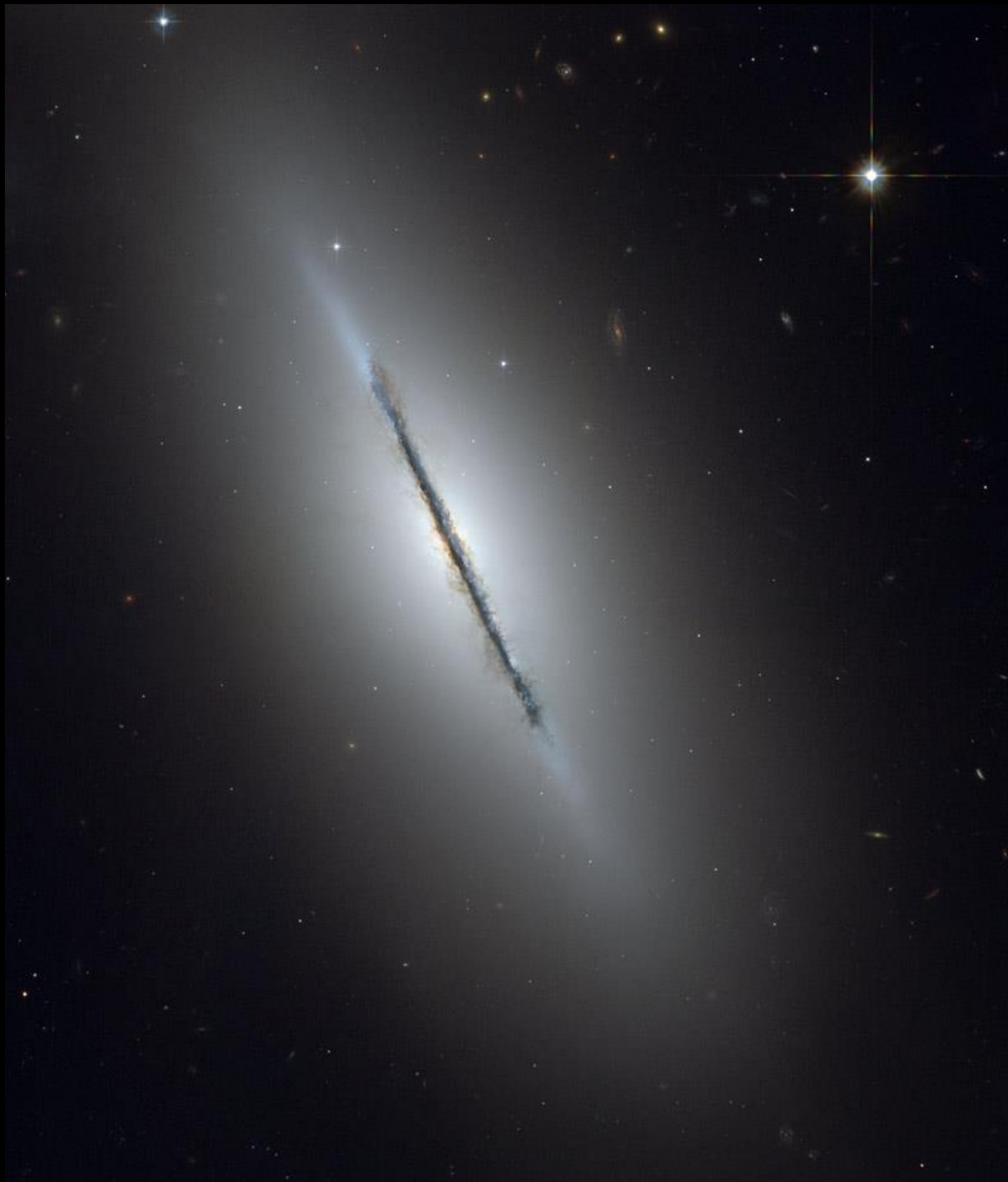






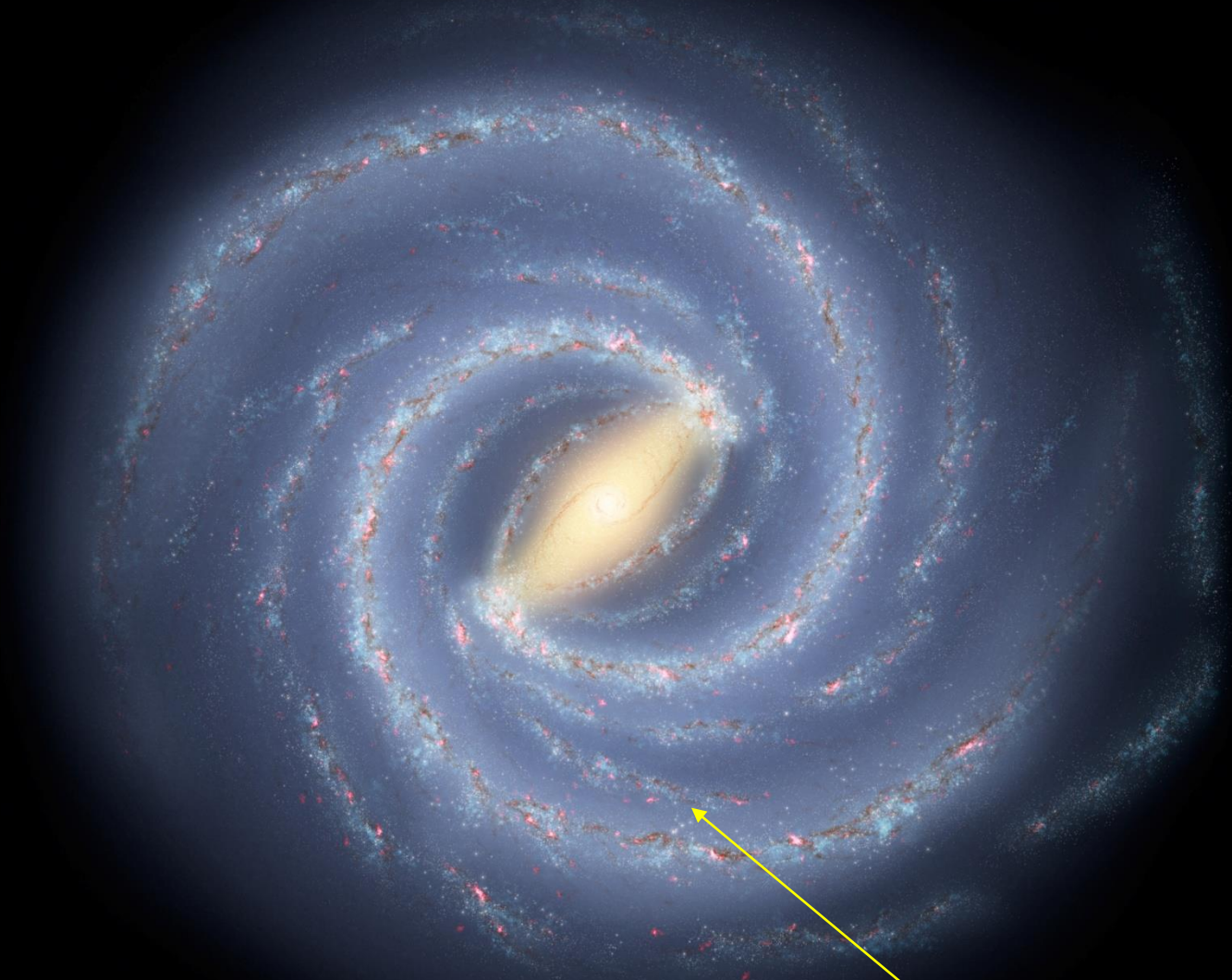












Soleil

1992

10 light days



L'inventaire galactique



Les nébuleuses diffuses :
les pouponnières d'étoiles



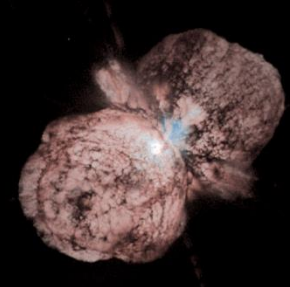
Des rassemblements
de jeunes étoiles : les
amas ouverts



Des rassemblements
de vieilles étoiles :
les amas globulaires

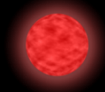


Des petites, mais aussi des
grosses étoiles qui meurent...



Des étoiles de toutes dimensions et de toutes les couleurs

Naine rouge
0,08 masse solaire



Étoile solaire
Environ 1 masse solaire



Géante bleue
Jusqu'à 100 Masses
solaires



Le devenir de l'Univers

Le Big Crunch : dans ce modèle, l'expansion finit par être ralentie par la gravitation. Il se contracte alors et atteint une température et une densité gigantesques.

Le Big Rip : la densité de l'Univers augmentera avec le temps, malgré l'expansion, en raison de la présence d'énergie fantôme. Des amas de galaxies aux atomes, tout finira par être détruit.

Chronologie du Big Rip :

- Quelques centaines de millions d'années avant le *Big Rip* : dislocation des super amas
- Plusieurs dizaines de millions d'années avant le *Big Rip* : dislocation de la plupart des galaxies
- Quelques minutes avant le *Big Rip* : dislocation des étoiles.
- 10^{-17} seconde avant le *Big Rip* : dislocation des atomes.

Le Big Bounce : Il s'agit d'un modèle de formation et d'évolution de l'univers, qui implique une alternance de Big Bang et de Big Crunch ; l'univers obéirait à un cycle d'expansion – contraction. Dans ce modèle, on peut imaginer un univers sans début !

La mort thermique de l'Univers : Petit à petit, la matière pour former de nouvelles étoiles disparaît et les étoiles s'éteignent les unes après les autres. Vers 10^{18} ans, il n'existe plus que des « cadavres stellaires ». Vers 10^{50} ans, il ne devrait subsister que quelques particules et des trous noirs.