

La Voie Lactée et le Monde des Galaxies

Daniel Pfenniger



Observatoire de Genève

Galaxies et Univers profond

- Que sont les galaxies ?
 - Perception au cours des âges
 - Structure
- Que font les galaxies ?
 - Évolution morphologique et chimique
- A quoi servent les galaxies ?
 - Lieux de formation d'étoiles
 - Creuset d'enrichissement en éléments chimiques
- D'où viennent les galaxies ?
 - Évolution dans l'univers en expansion



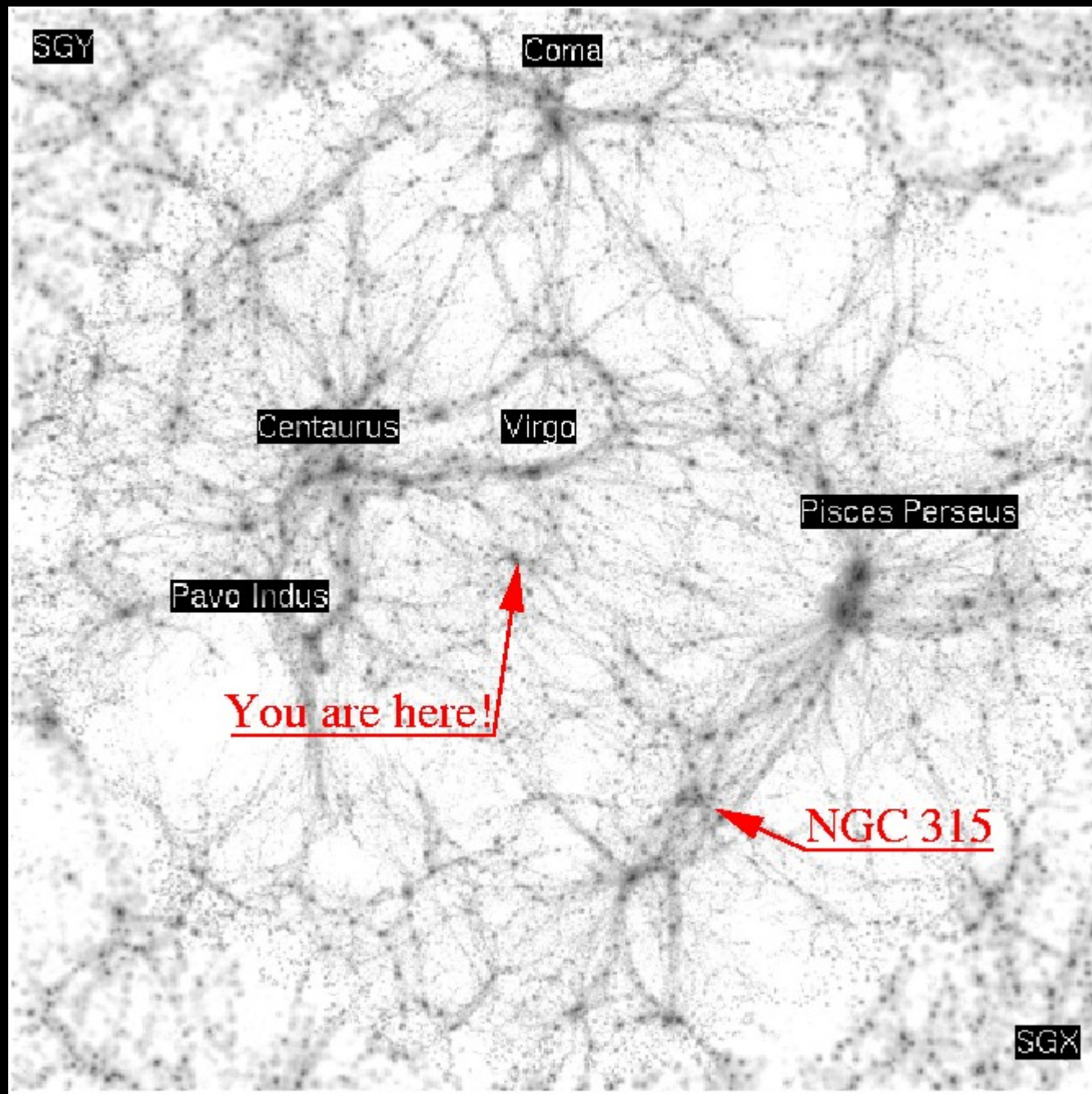
Terre plate



Terre ronde au centre



Cosmographie moderne



Cosmographie moderne



Découverte des galaxies

- La vision de la Voie Lactée a imprégné les cultures depuis la nuit des temps
- En 1610 Galilée découvre avec sa lunette que la Voie Lactée est composée d'étoiles
- Vers 1750 Kant, spécule correctement la nature de disque auto-gravitant et tournant de la Voie Lactée, et aussi l'existence d'autres Voies Lactées
- La confirmation scientifique de l'existence de galaxies (~1920) comme autres Voies Lactées a demandé ~170 ans
- Depuis, la Voie Lactée disparaît de la vie ordinaire urbaine à cause de la pollution lumineuse

Temps lumière

Étoiles
~ 4 - 5000 ans

Voie Lactée
~ 5'000-50'000 ans

Nuages de Magellan
~ 150'000 ans

Système solaire
~ 0.1-5 h

Montagnes, nuages
~ 1-10 μ sec

Que sont les galaxies ?

- Aujourd'hui encore une majeure partie de la matière dont elles sont faites est de nature inconnue
 - matière noire, baryonique et non-baryonique
- La matière identifiée des galaxies consiste essentiellement :
 - Étoiles, incluant leur système planétaire
 - Gaz interstellaire d'hydrogène et hélium
 - Traces d'éléments plus lourds dans des molécules et des grains de poussière
- Leur structure et leur physique sont complexes
 - Spirales : rotation rapide, disques soutenus par la force centrifuge
 - Elliptiques : rotation lente, soutenues par le mouvement désordonné des étoiles
 - Autres
- Les galaxies sont organisées à grandes échelles
 - Groupes des quelques dizaines de galaxies
 - Filaments, faits de groupes sur des centaines de millions d'année-lumière
 - Amas à l'intersection des filaments

Galaxie d'Andromède (M31) :

~100 milliards d'étoiles à 2 millions d'année-lumière



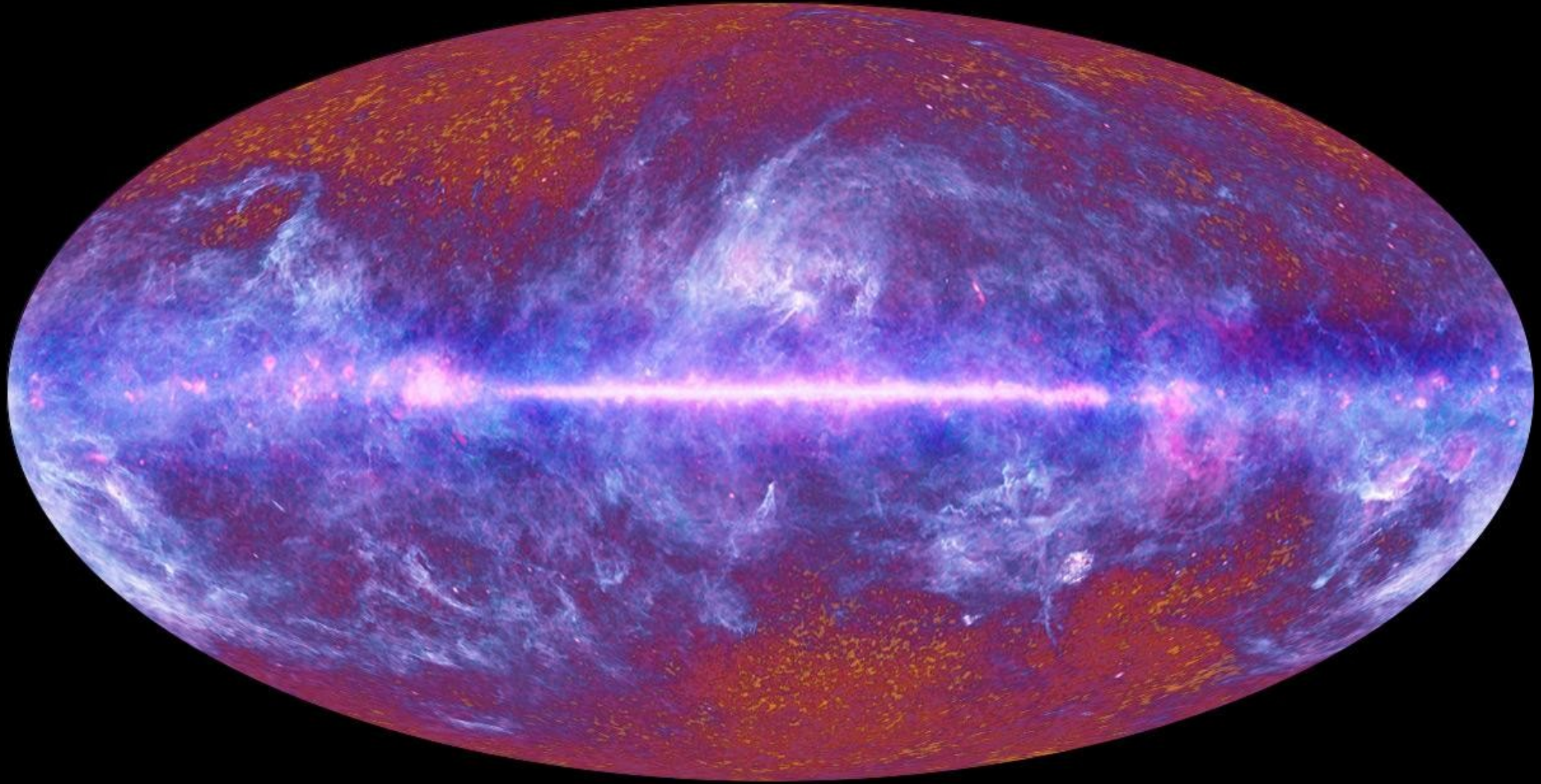
100'000 année-lumière $\sim 10^{18}$ km = 1 milliard de milliards de km

Vue typique du ciel à l'œil nu quelque
part au hasard dans l'univers :
1-2 galaxies comme Andromède



L'Univers est très sombre à nos sens !

Le ciel vu par le satellite Planck en ondes millimétriques :



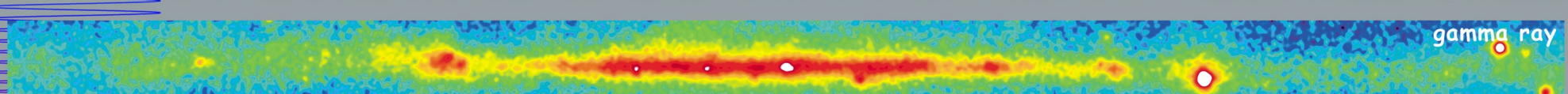
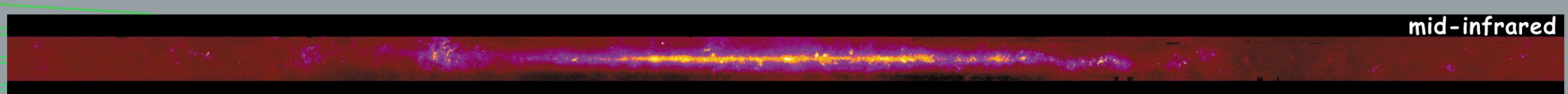
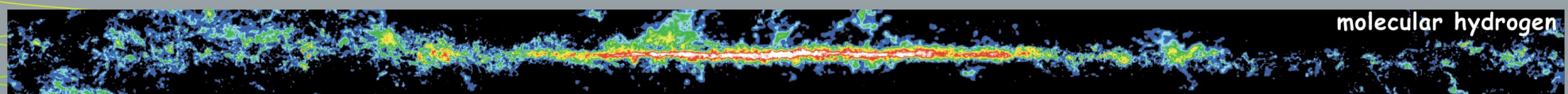
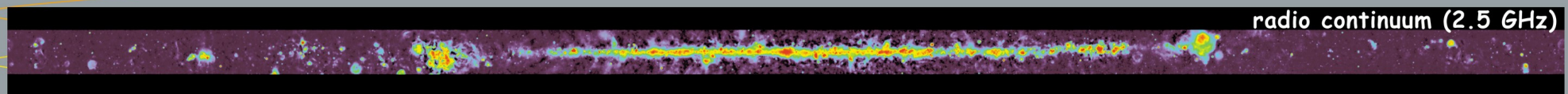
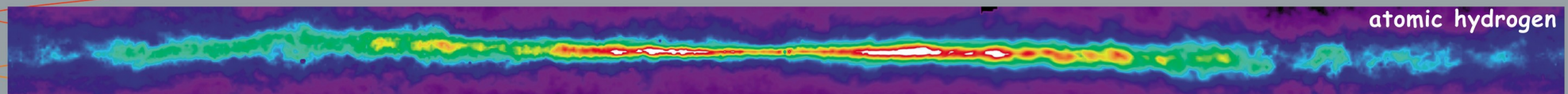
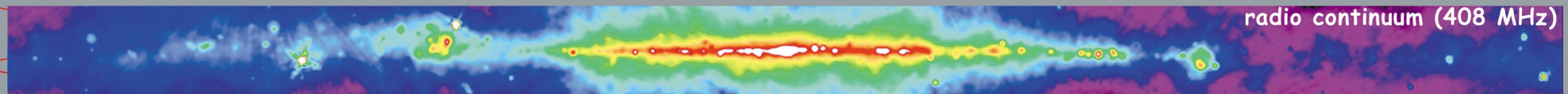
de la poussière froide presque partout dans la Voie Lactée,
et le fond cosmique en arrière-plan !

La Nébuleuse de l'Aigle : lumière visible



La Nébuleuse de l'Aigle : lumière infrarouge



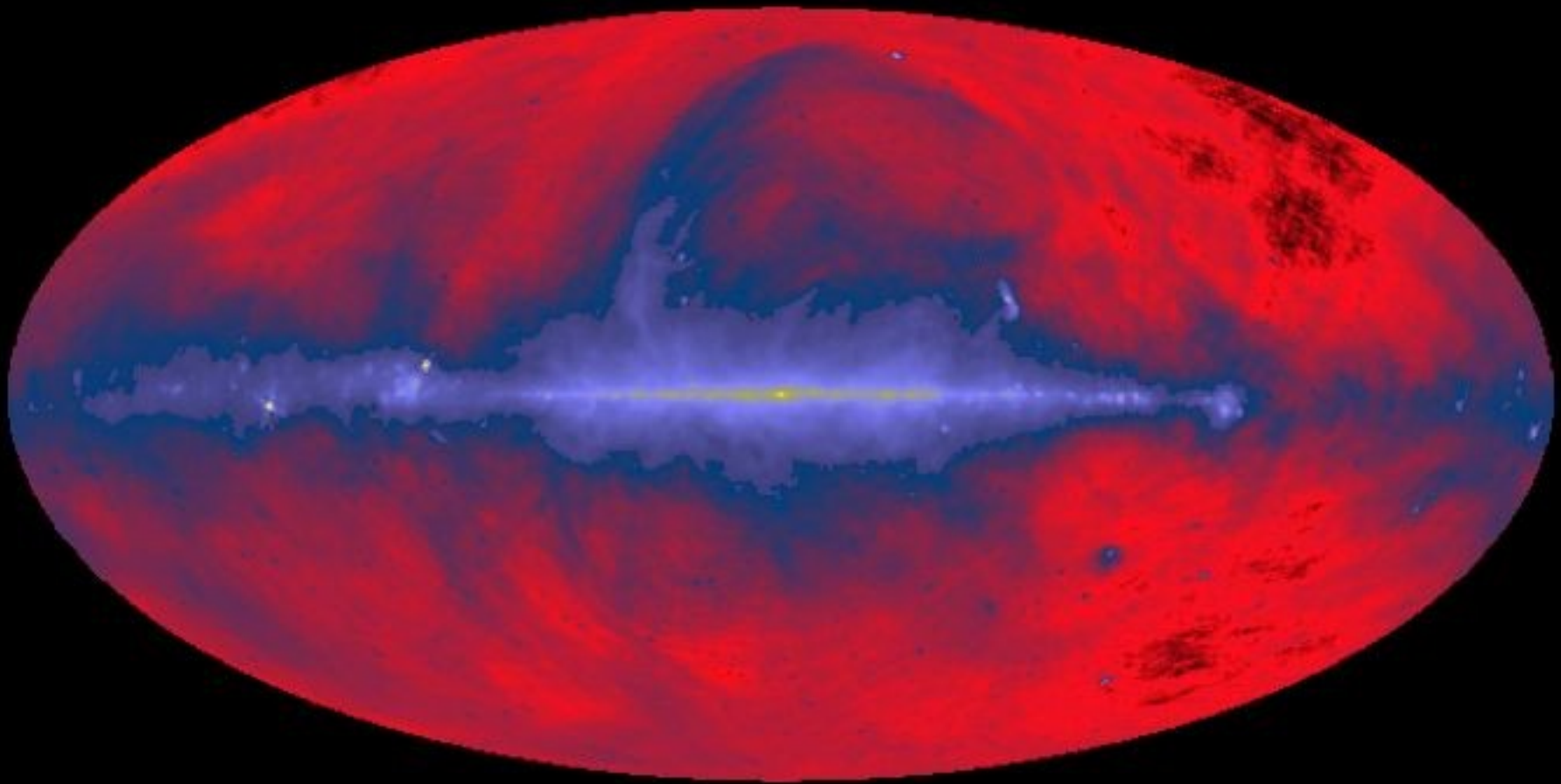


<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>

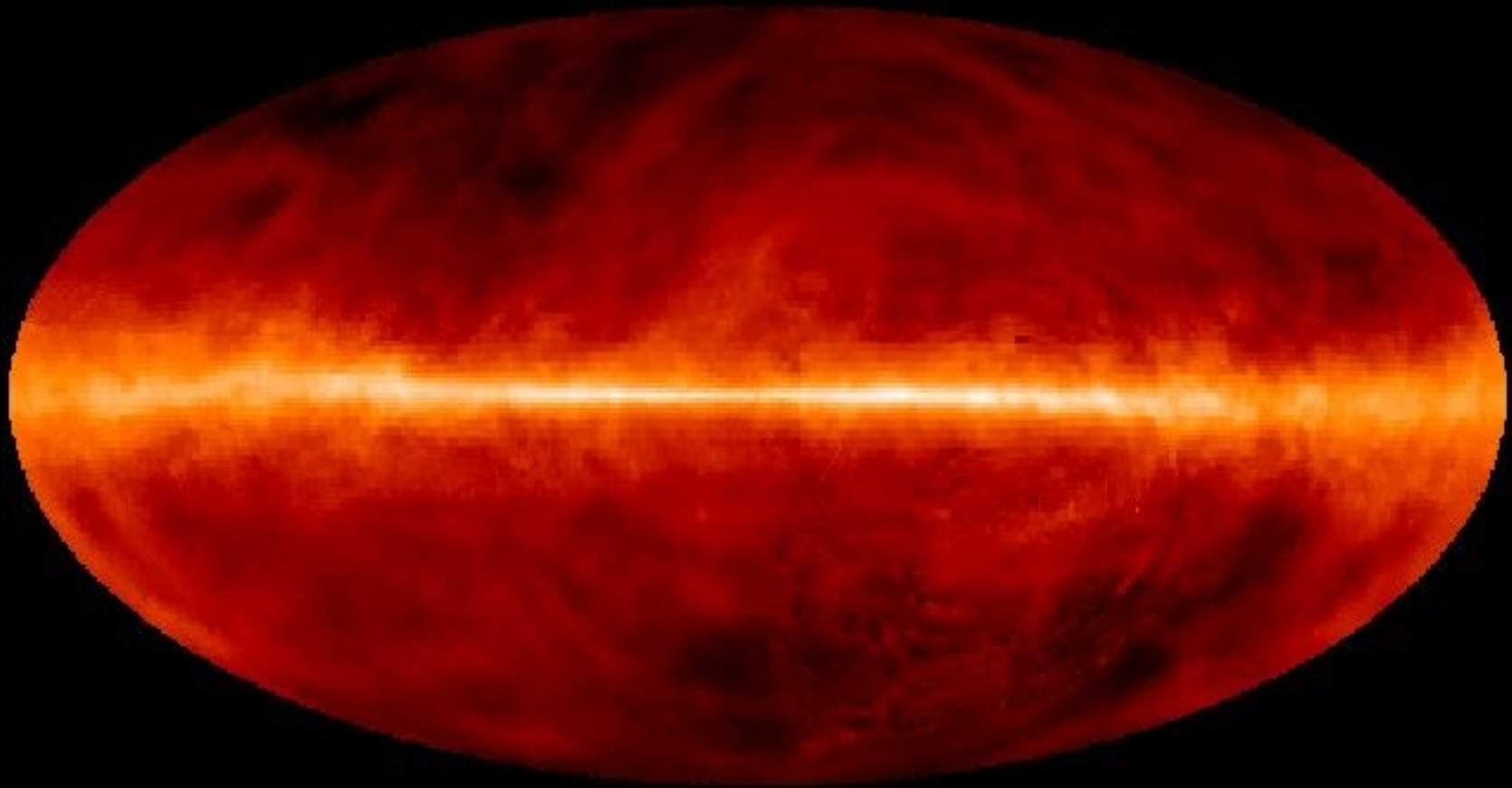


Multiwavelength Milky Way

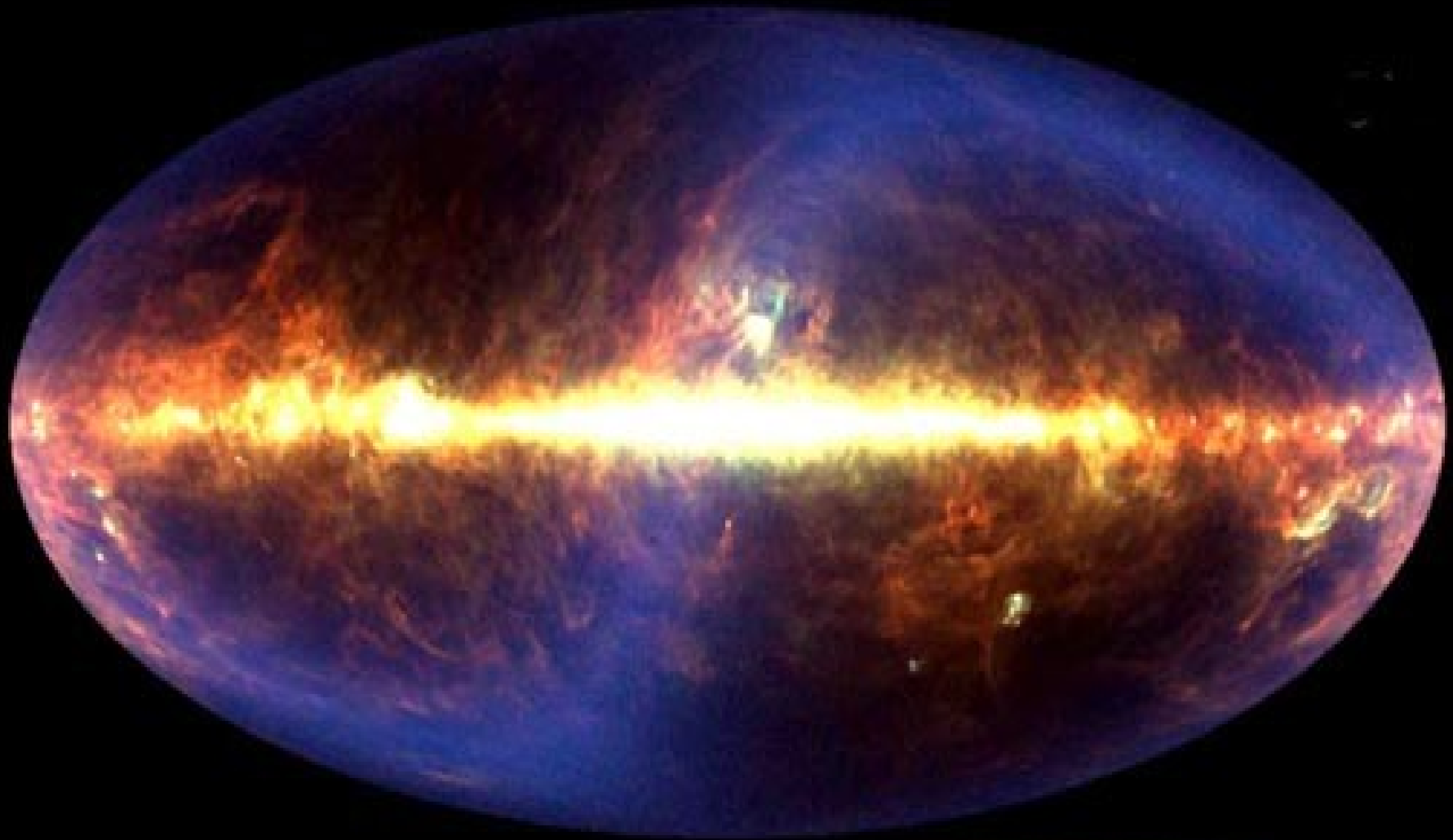
Le ciel multicolore, radio



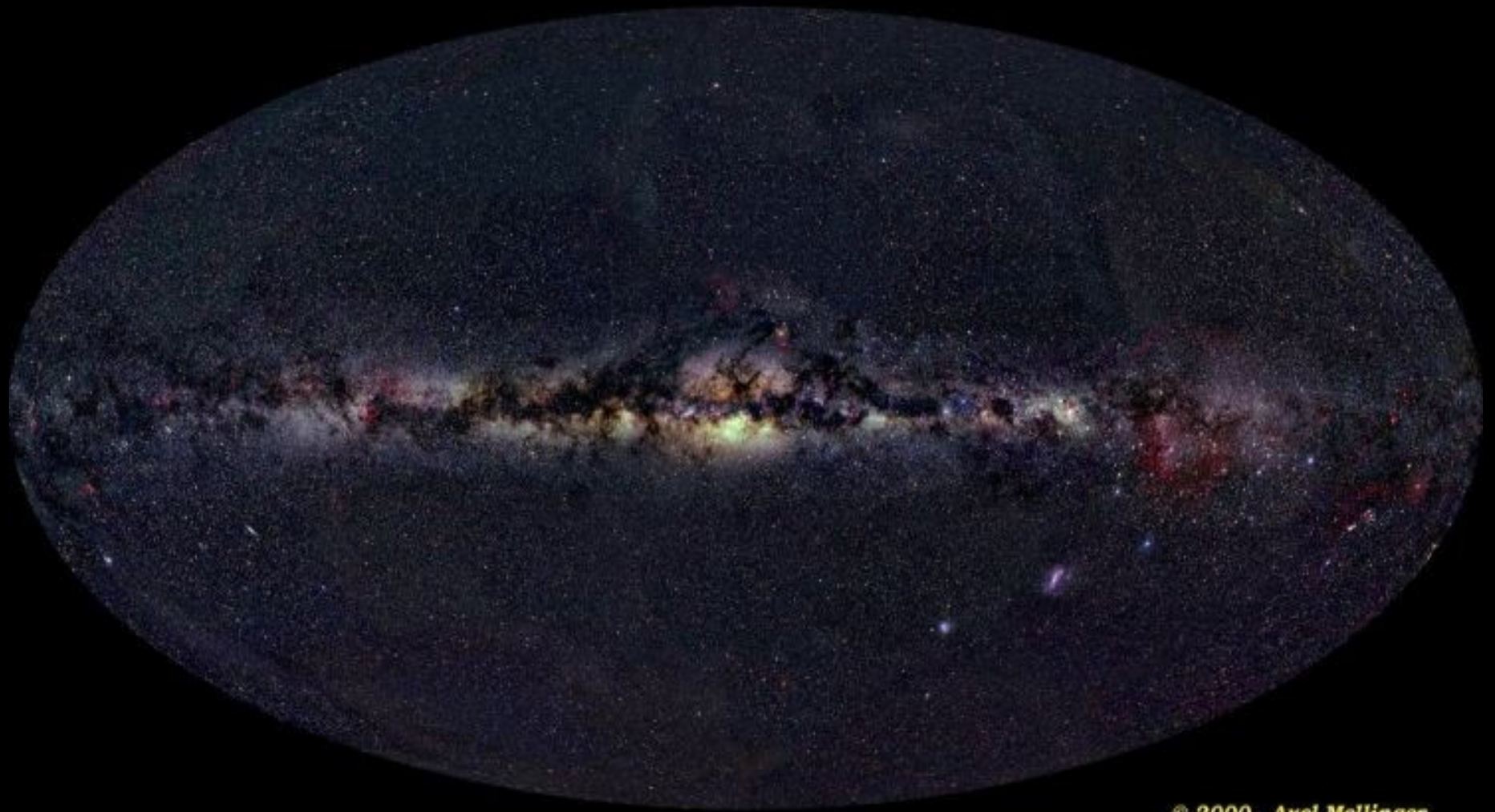
Le ciel multicolore, H 21cm



Le ciel multicolore, infrarouge

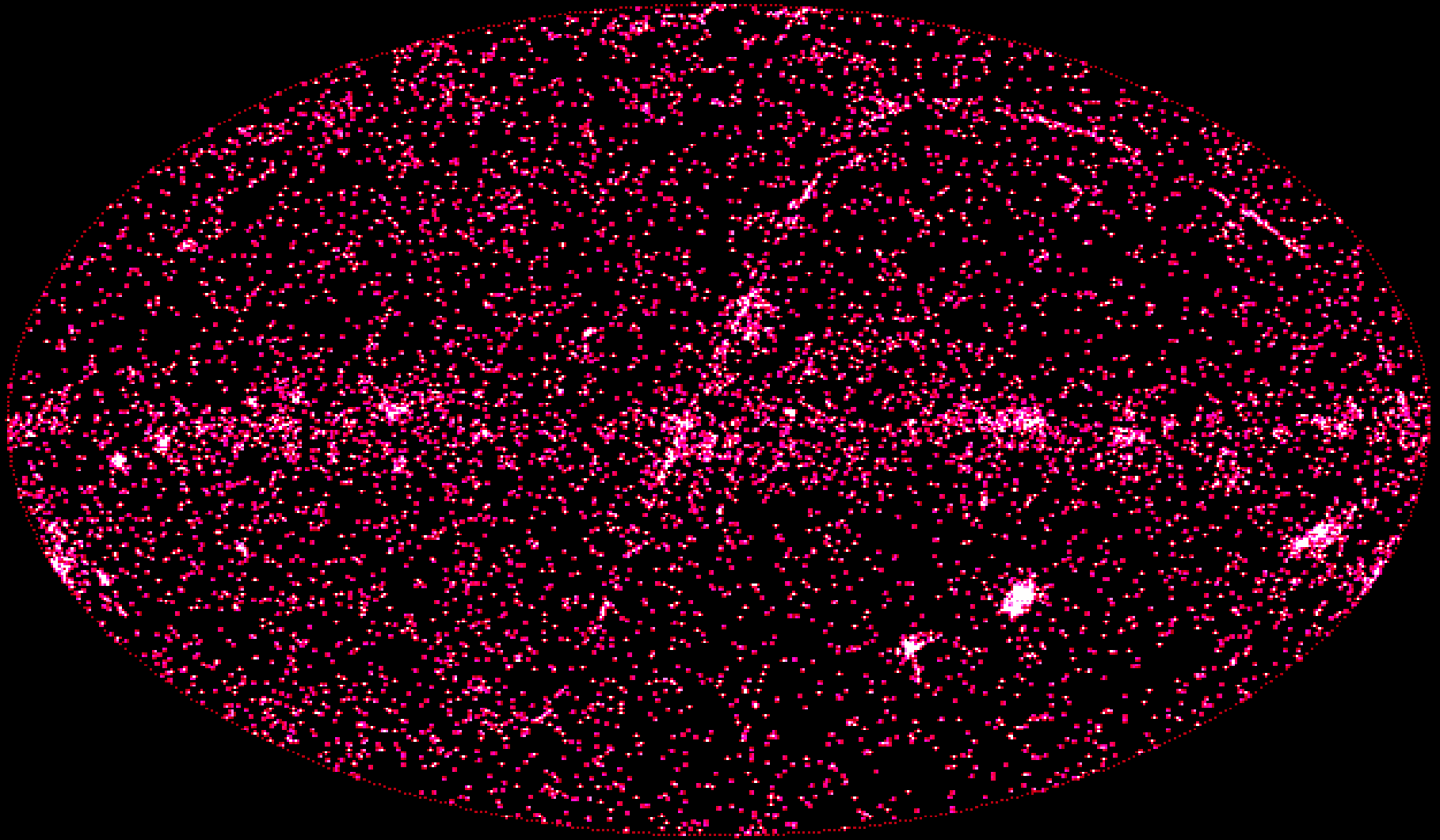


Le ciel multicolore, visible

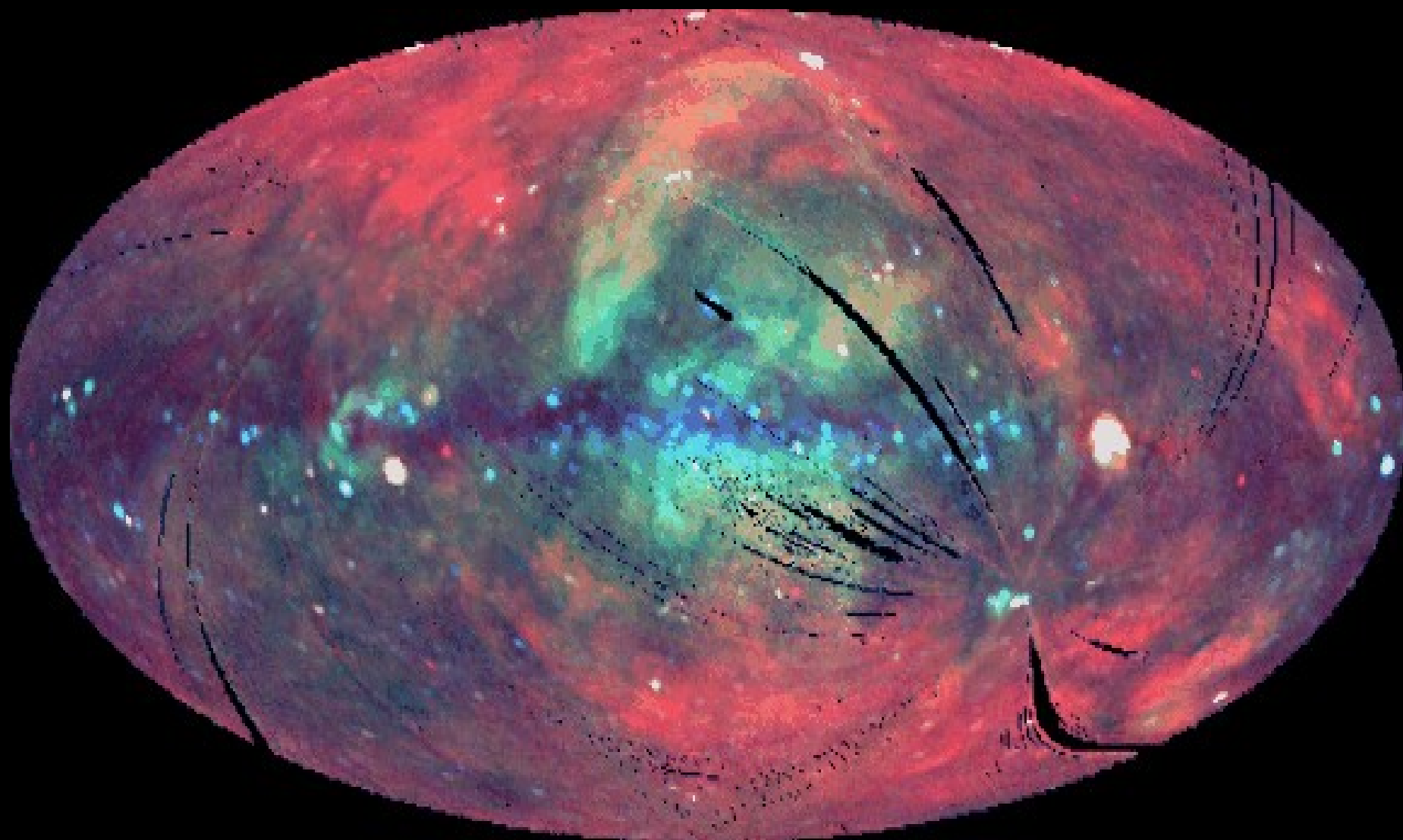


© 2000, Axel Mellinger

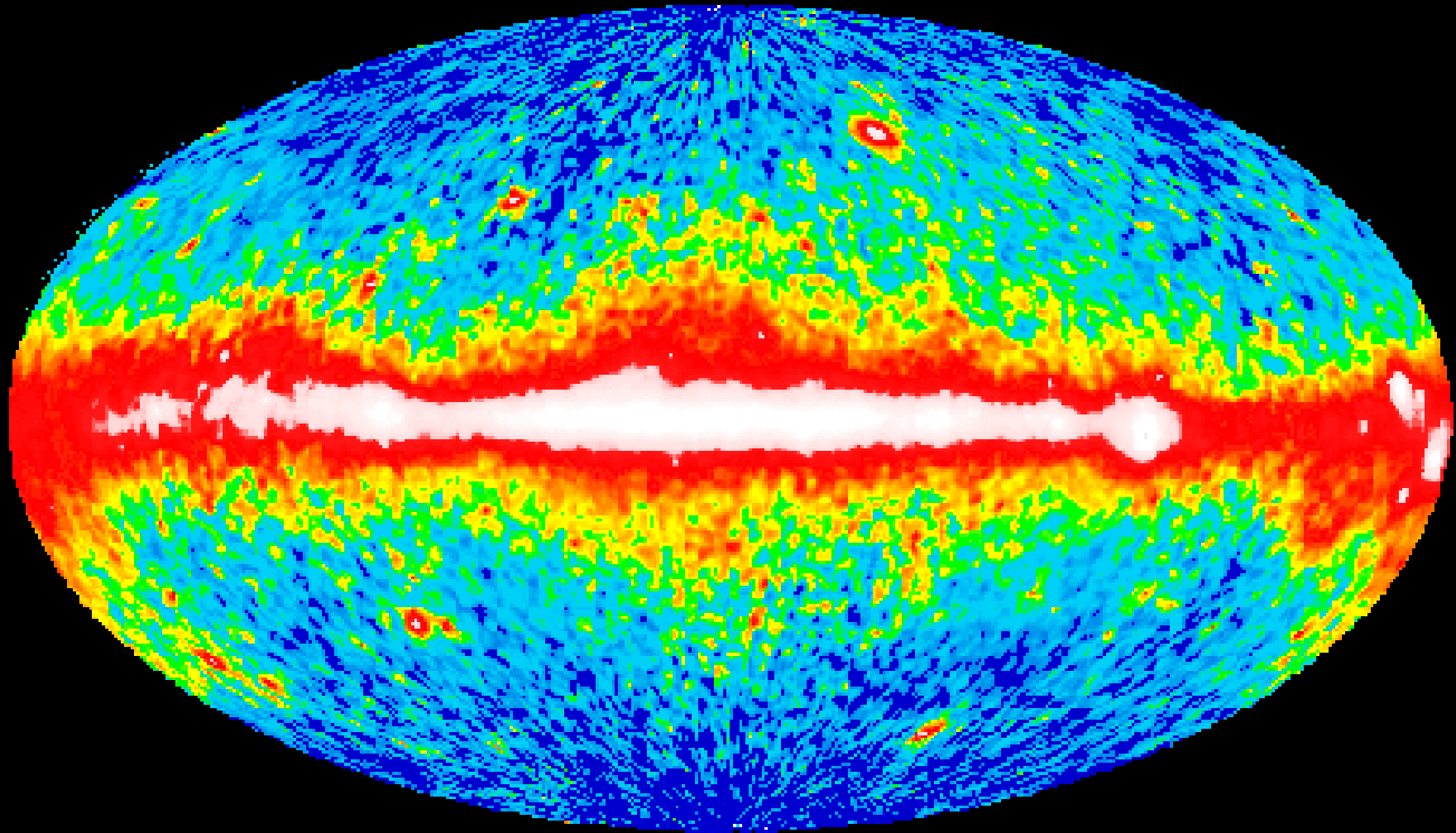
Le ciel multicolore, UV



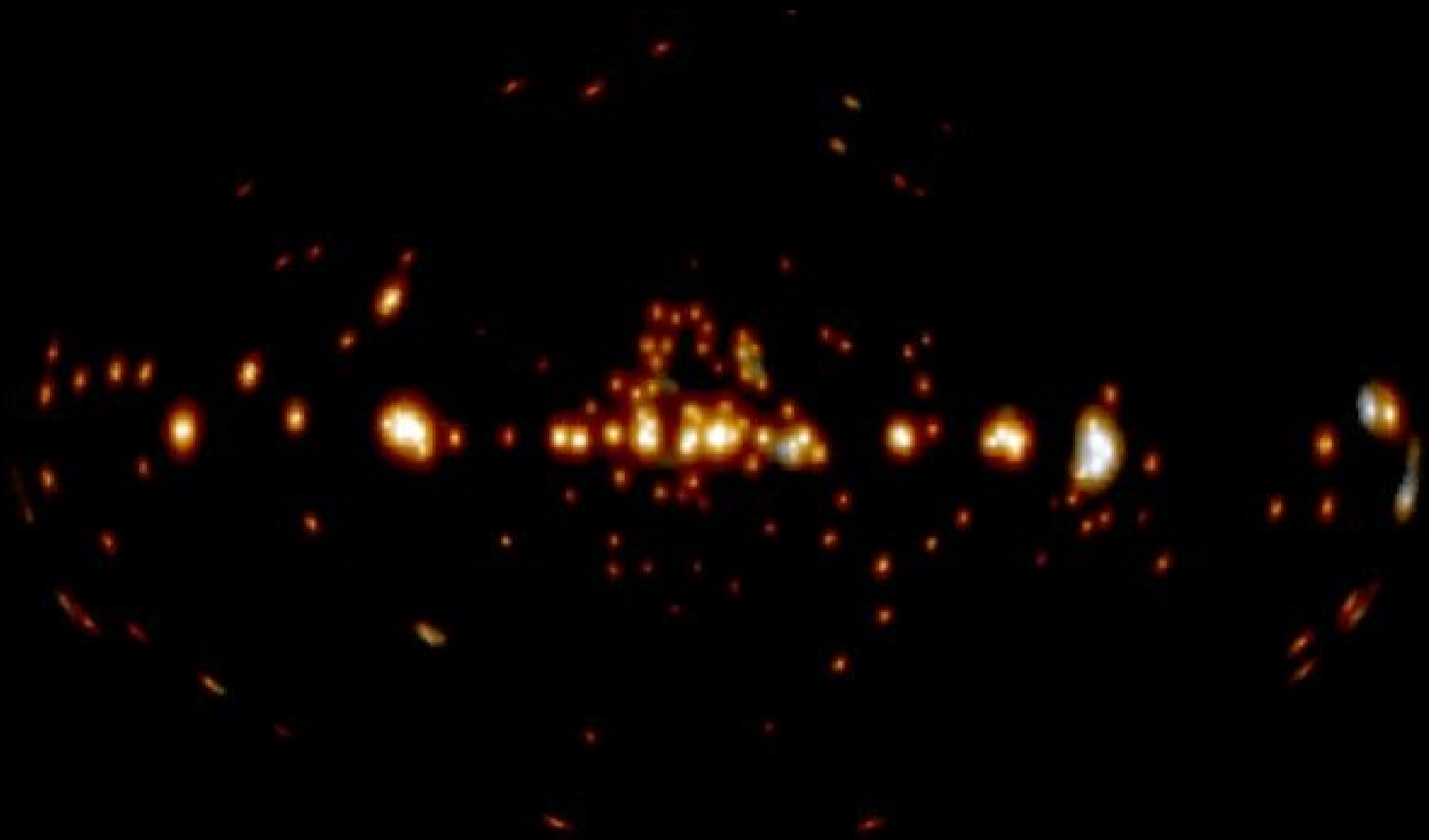
Le ciel multicolore, rayons X



Le ciel multicolore, gamma



Le ciel multicolore, gamma



Que font les galaxies ?

- Elles évoluent à différents rythmes
 - Formation d'étoiles : $\sim 1 / \text{an}$
 - Supernovae : $\sim 1 / 50 \text{ an}$
 - Temps de rotation : $2 \times 10^8 \text{ an}$
 - Formation / destruction de barre et spirales en $1 \times 10^9 \text{ an}$
 - Accrétion de gaz, doublement de la masse en $\sim 5 \times 10^9 \text{ an}$
 - Interactions entre galaxies, collisions irrégulières
- Transformation du gaz en étoiles
 - Recyclage du gaz et des éléments lourds produits et éjectés des étoiles
 - Mélange des éléments lourds dans le gaz interstellaire par turbulence
- Croissance d'un trou noir central massif

Galaxie barrée d'Eridan (NGC 1300) :

~100 milliards d'étoiles à 60 millions d'année-lumière



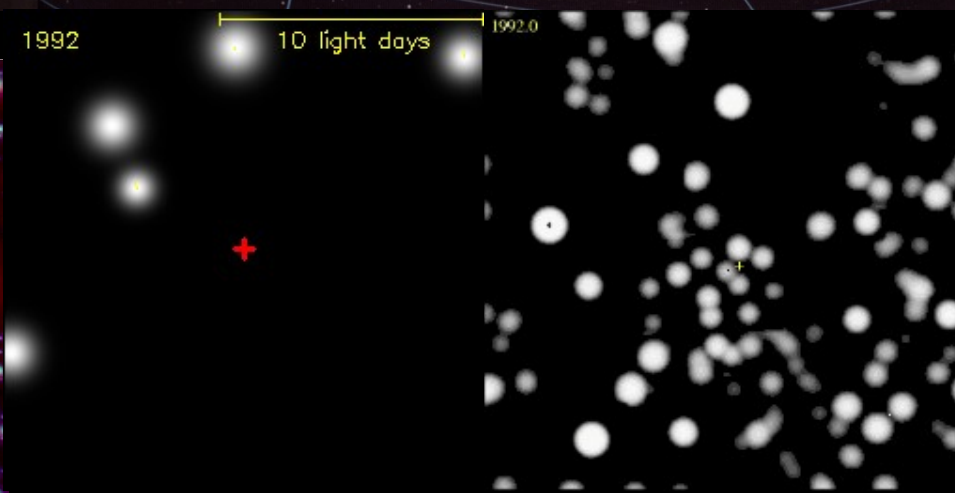
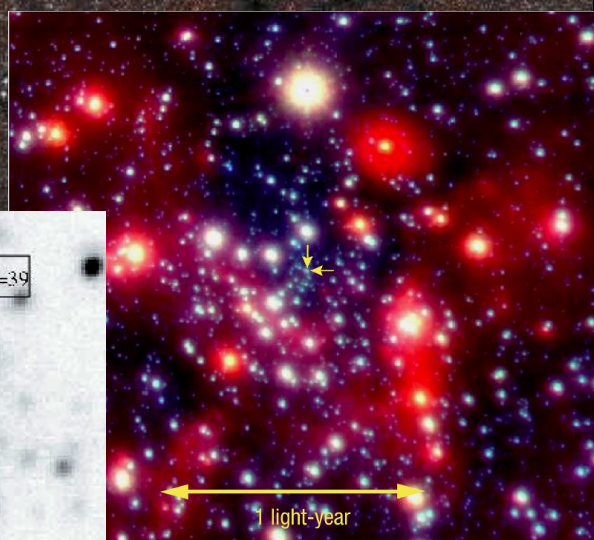
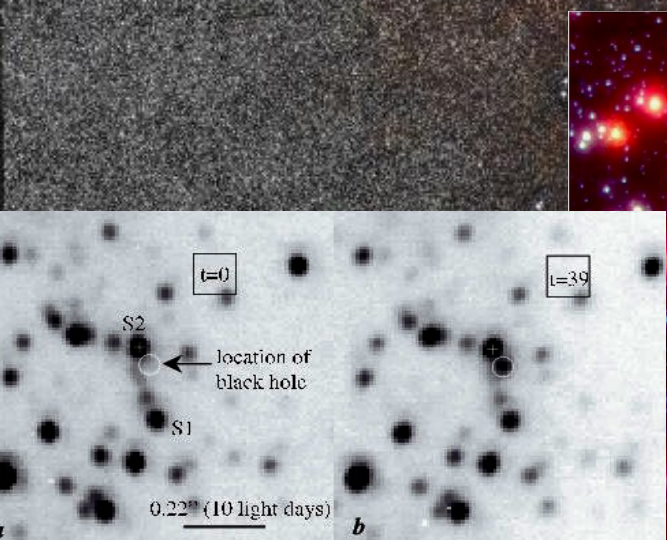
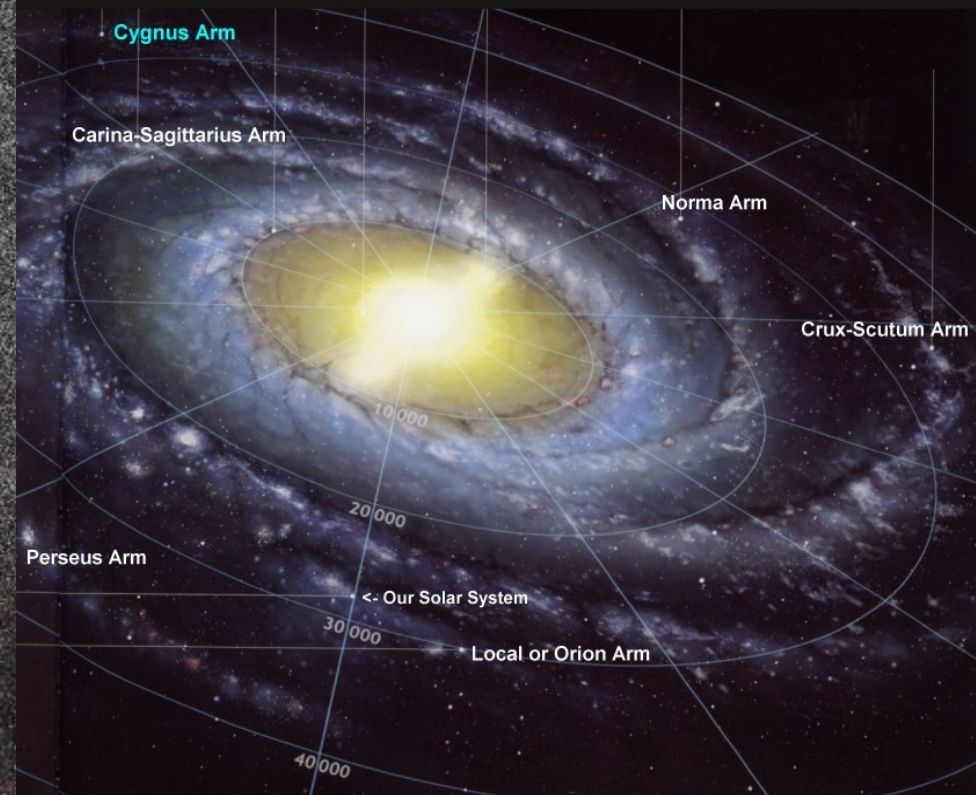
100'000 année-lumière $\sim 10^{18}$ km = 1 milliard de milliards de km



100'000 année-lumière $\sim 10^{18}$ km \equiv 1 milliard de milliards de km



Trou noir au centre de la Voie Lactée



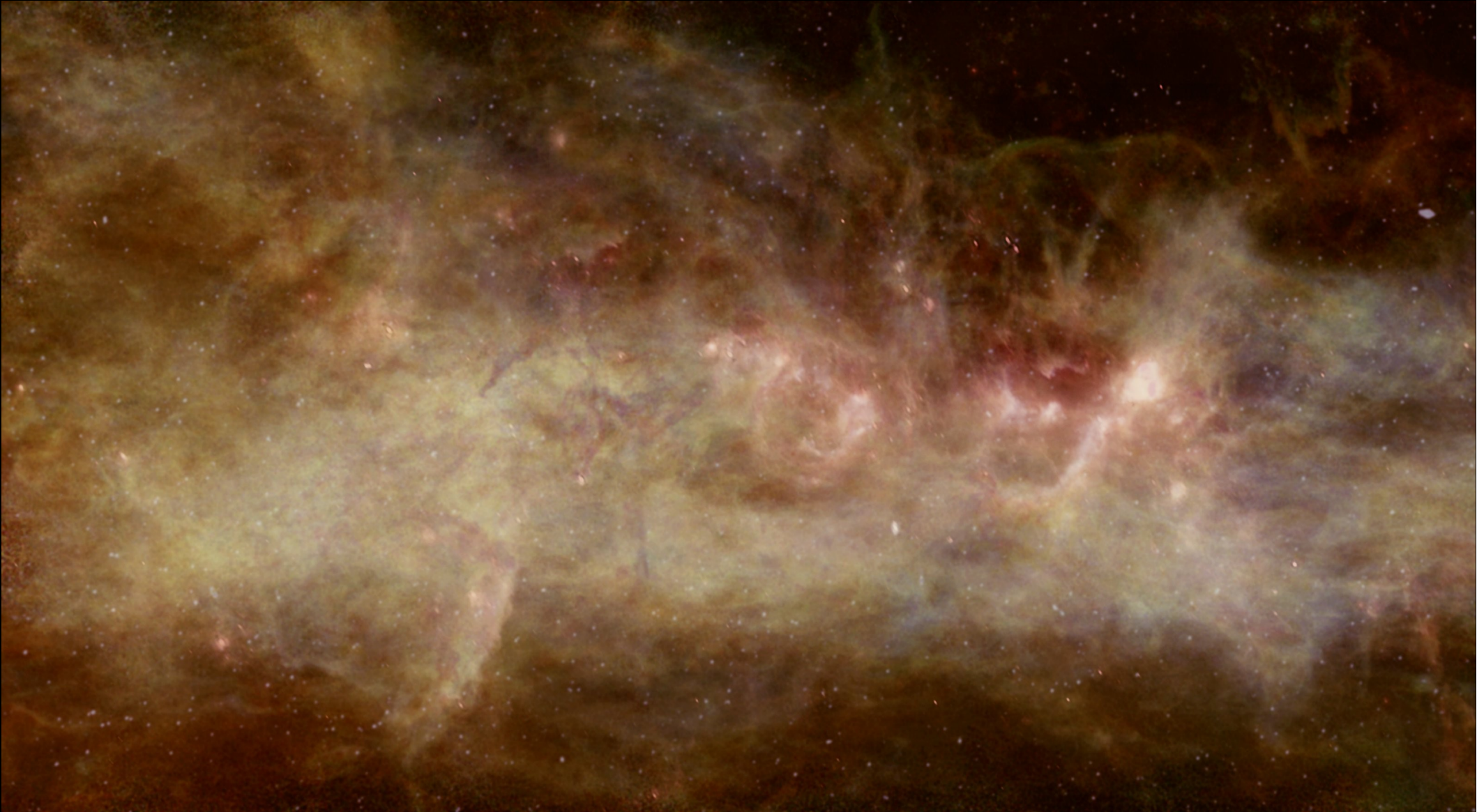
The Centre of the Milky Way
(VLT YEPUN + NACO)
ESO PR Photo 23a/02 (9 October 2002) © European Southern Observatory







La Voie Lactée en ondes radio de 21 cm



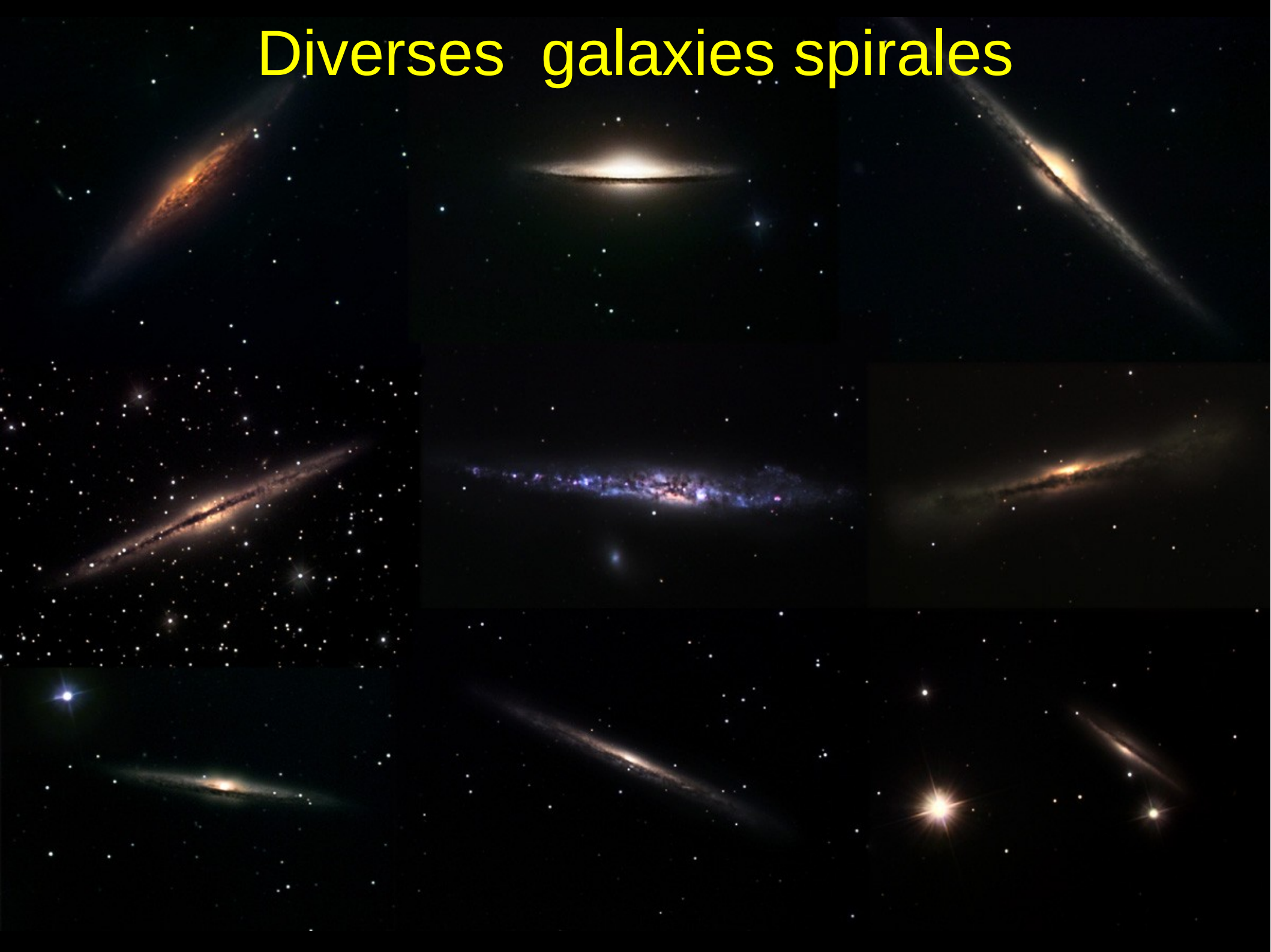
La Voie Lactée en infrarouge proche



À partir d'un nuage de gaz froid et sombre
les étoiles se forment et le détruisent



Diverses galaxies spirales



La galaxie lenticulaire du Sombrero

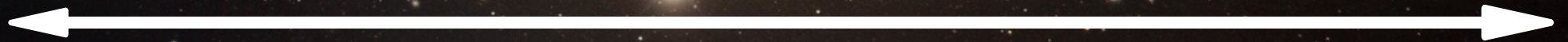


Galaxie sphéroïdale naine Leo 1




3'000 année-lumière

Galaxie elliptique géante M87 au centre de
l'amas de Virgo:
un cimetière de centaines de galaxies englouties



1 million d'année-lumière

Un groupe de galaxies

The image displays a vast field of stars and galaxies against a dark cosmic background. In the center, a prominent galaxy is seen edge-on, appearing as a bright, elongated disk. Above it, a faint, blue, wavy structure suggests a galaxy in the process of being disrupted or a tidal stream. The field is populated with numerous other stars and galaxies of various colors and sizes. At the bottom, a white double-headed arrow spans a significant portion of the image's width, indicating a scale of 1 million light-years.

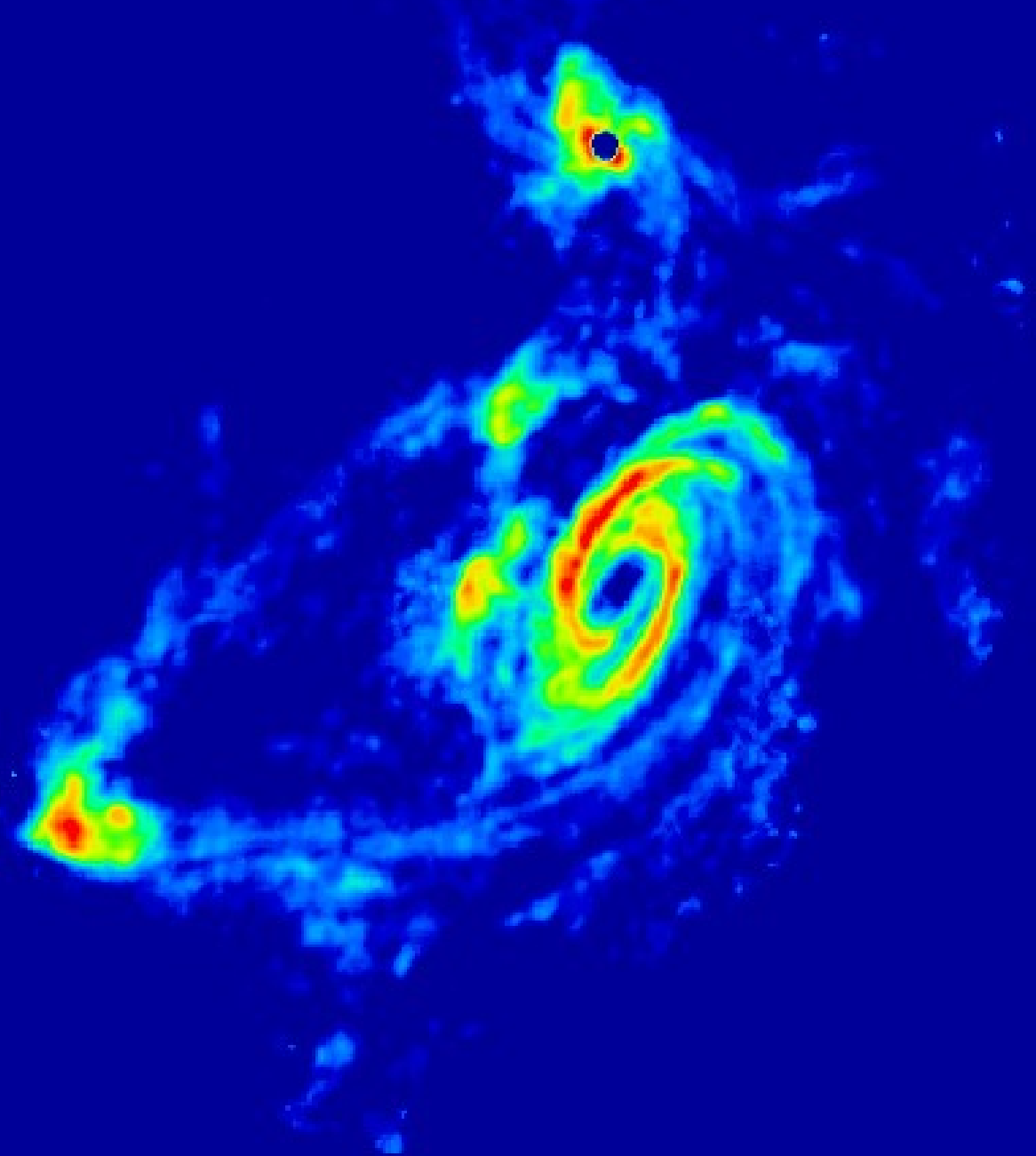
1 million d'année-lumière

Groupe M81 - M82

Visible



Radio 21 cm



M82 : une galaxie avec un fort sursaut de formation d'étoiles



Un amas de galaxies avec mirages gravitationnels

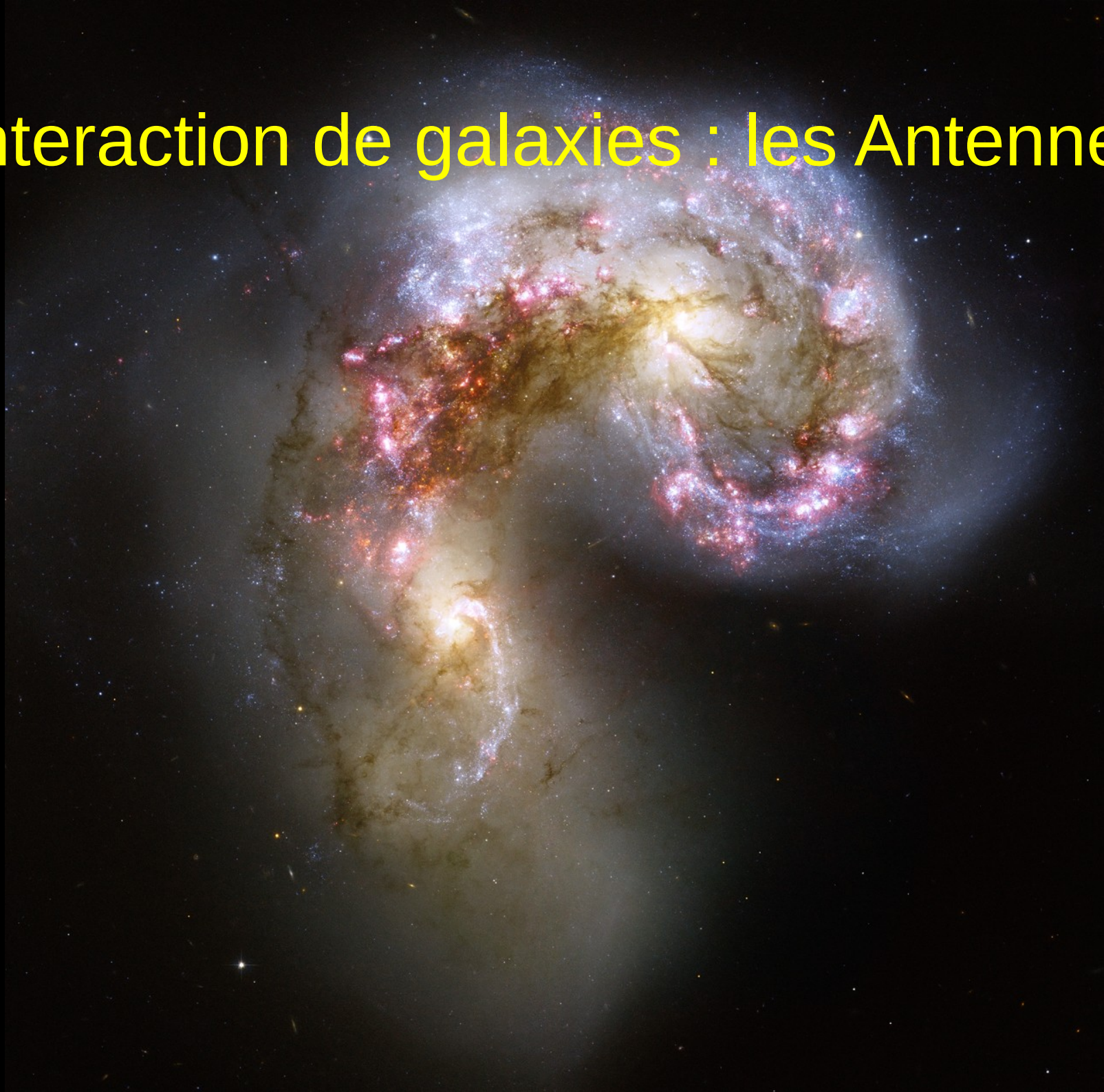
A deep-field astronomical image showing a dense cluster of galaxies. The galaxies are mostly yellow and white, with some blue and red ones scattered throughout. The background is dark, and the galaxies are distributed across the frame. A white double-headed arrow at the bottom indicates a scale of 3 million light years. The text 'Un amas de galaxies avec mirages gravitationnels' is at the top, and '3 millions d'année-lumière' is at the bottom.

3 millions d'année-lumière

Interaction de galaxies : M51



Interaction de galaxies : les Antennes



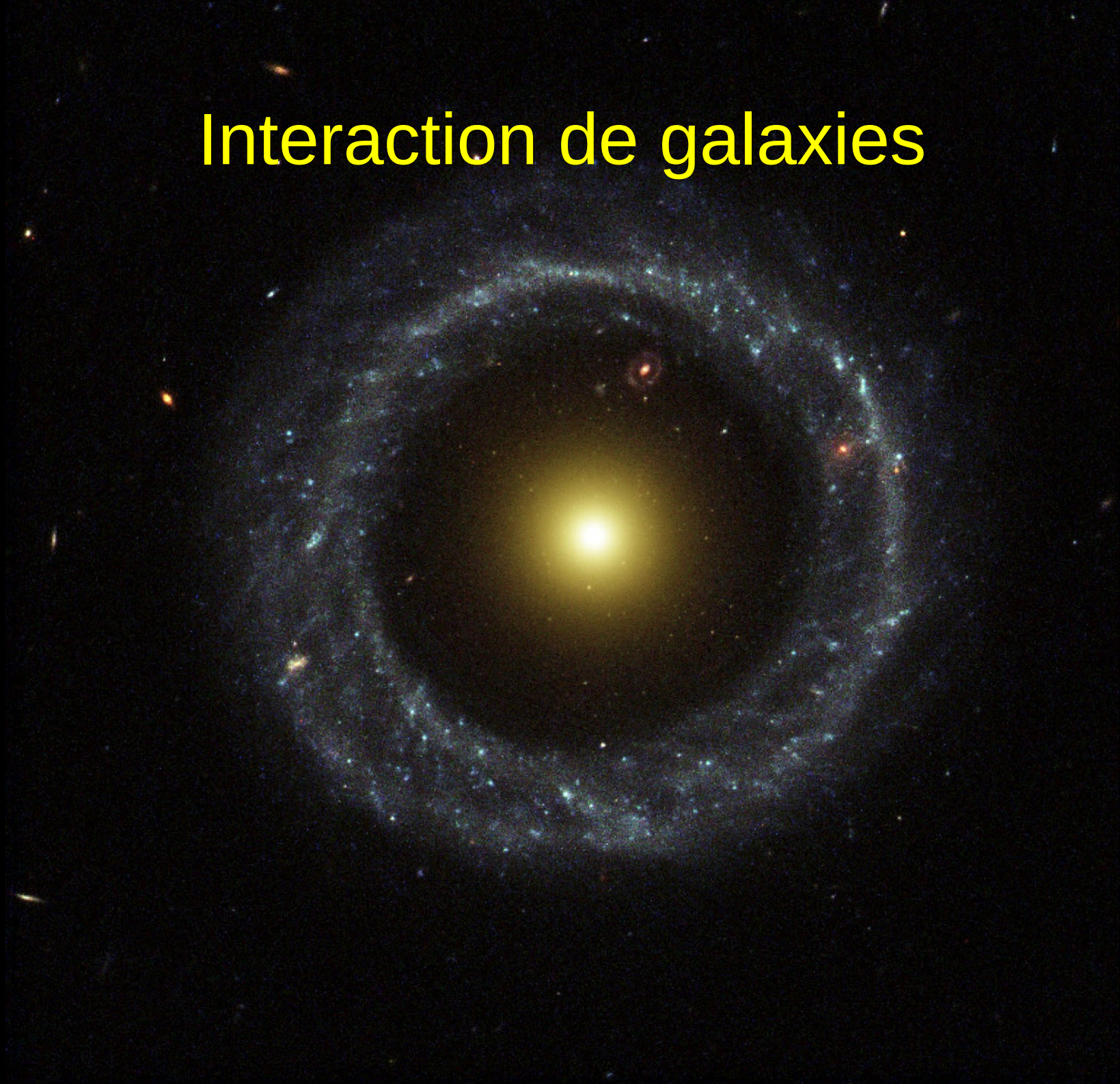
Interaction de galaxies : les Souris



Interaction de galaxies



Interaction de galaxies



Interaction de galaxies

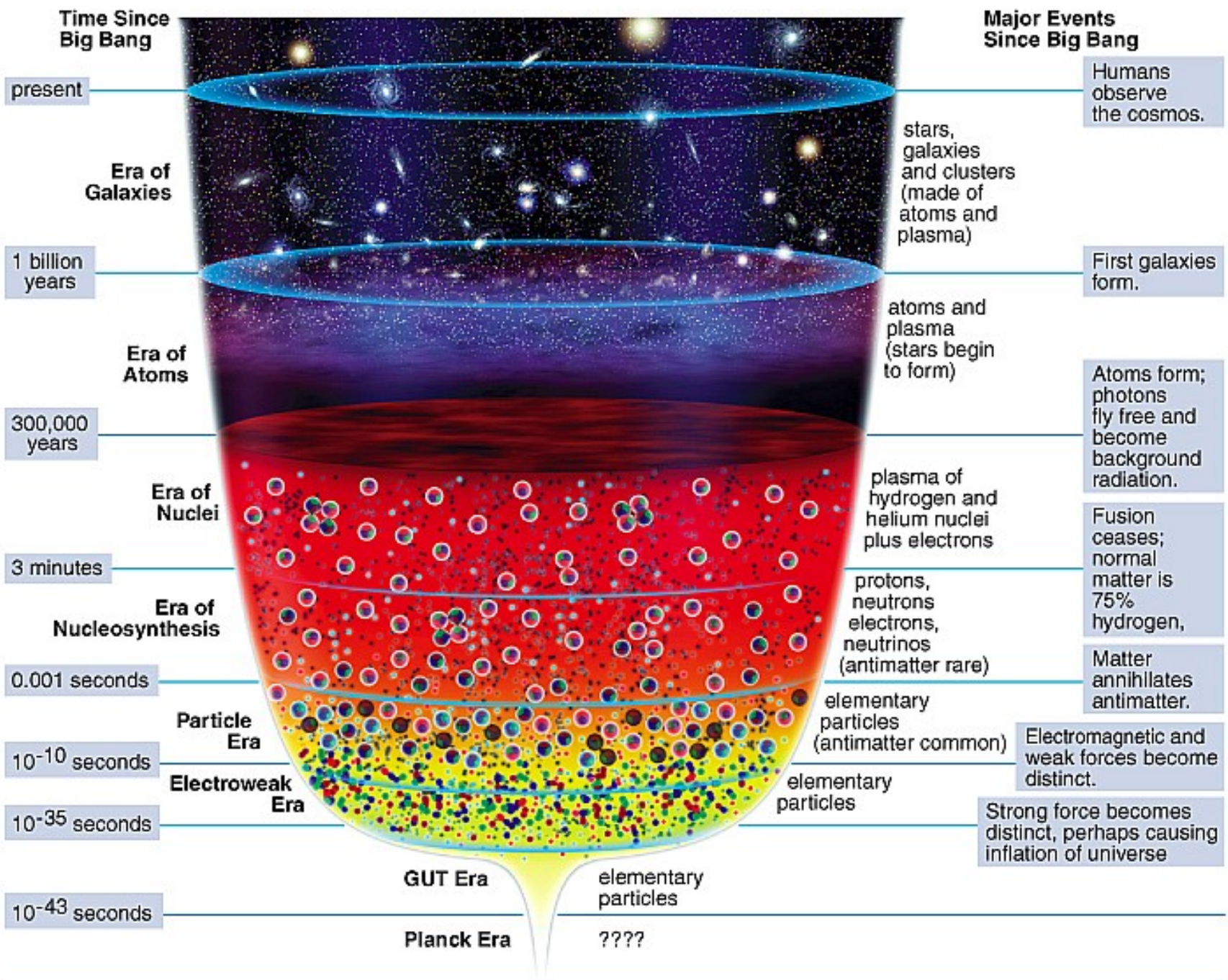


Interaction de galaxies

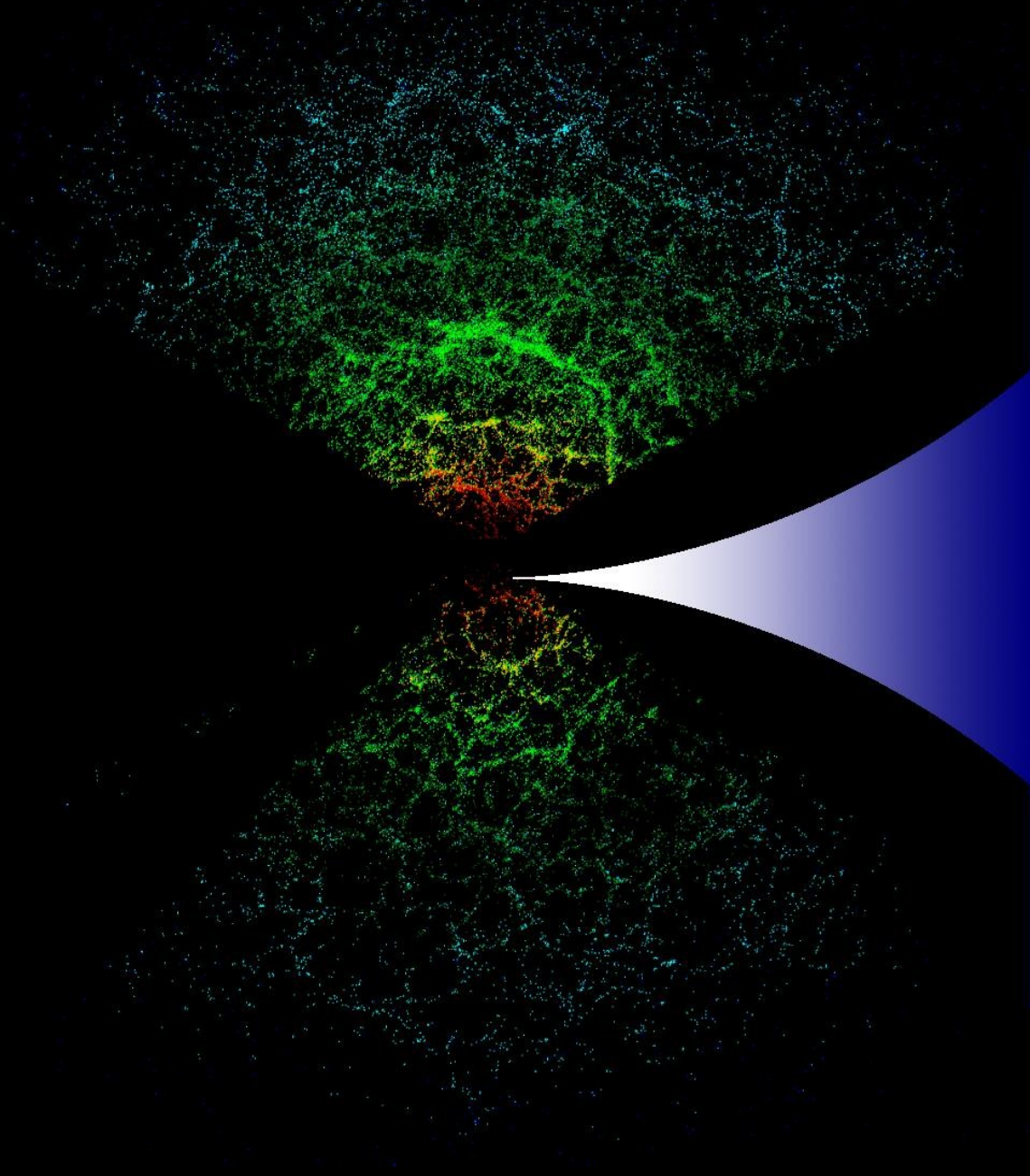


D'où viennent les galaxies ?

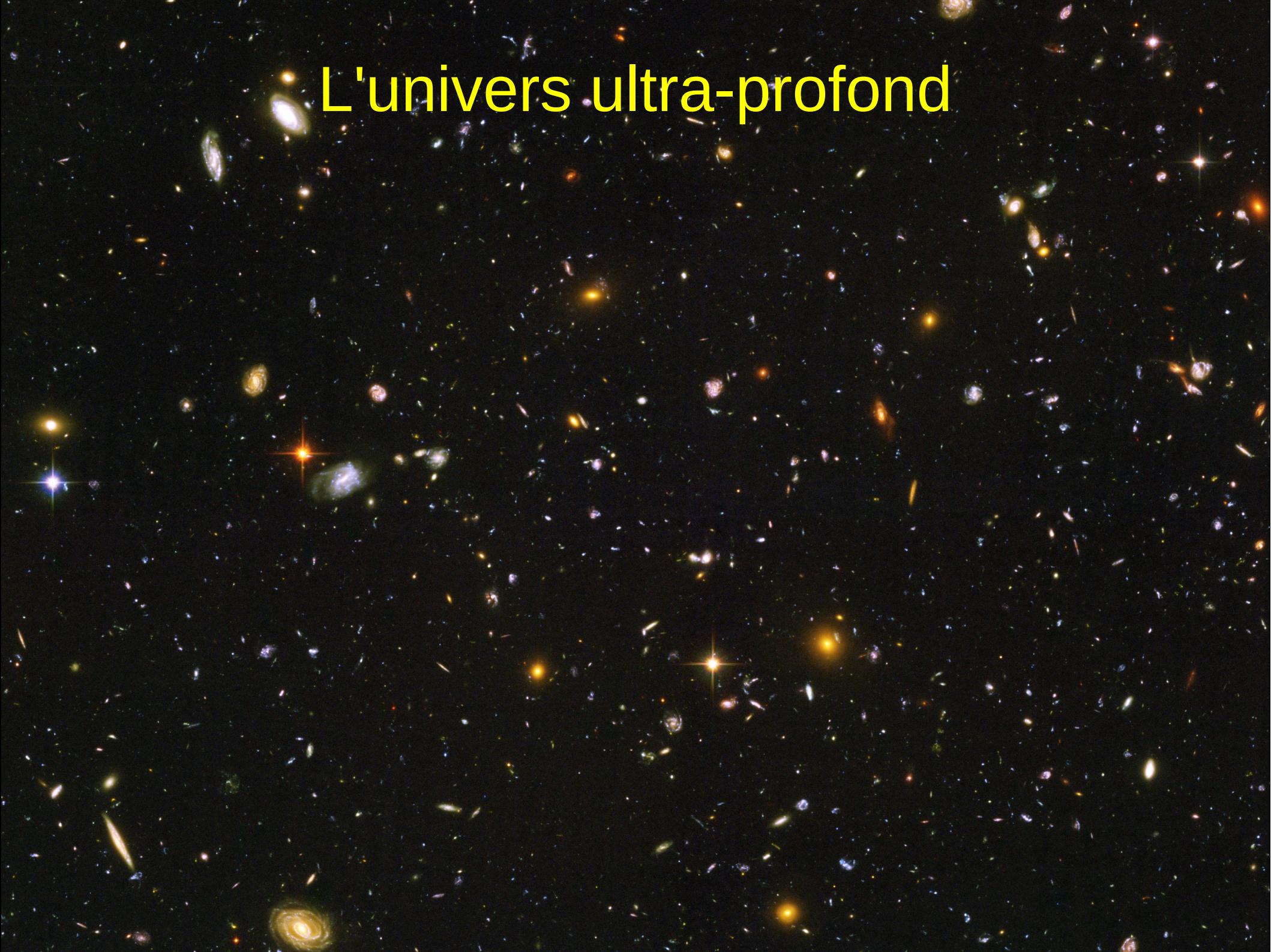
- Formation multi-échelles spatiales et temporelles des structures 300 millions d'années après le big-bang par instabilité gravitationnelle
- La formation par fusion est hiérarchique, il y a aussi en même temps évaporation
- Le taux de formation décroît avec le temps
- L'univers est ainsi parti d'un état très homogène devenant très inhomogène, grâce à la gravitation



Grandes structures cosmologiques

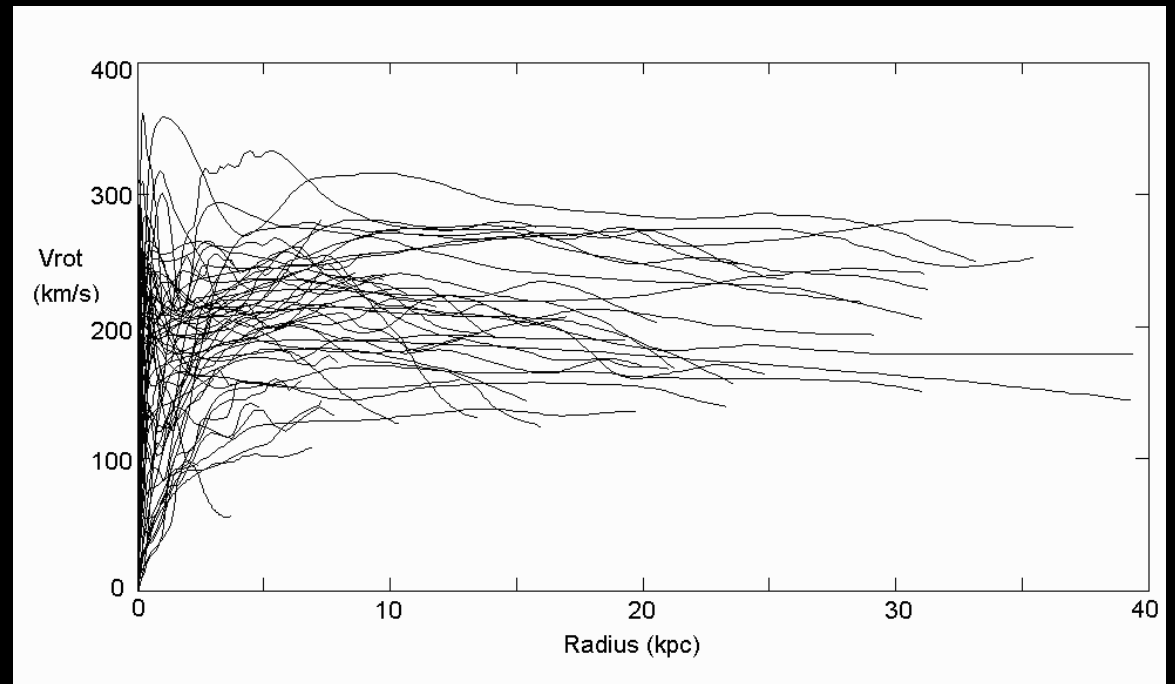
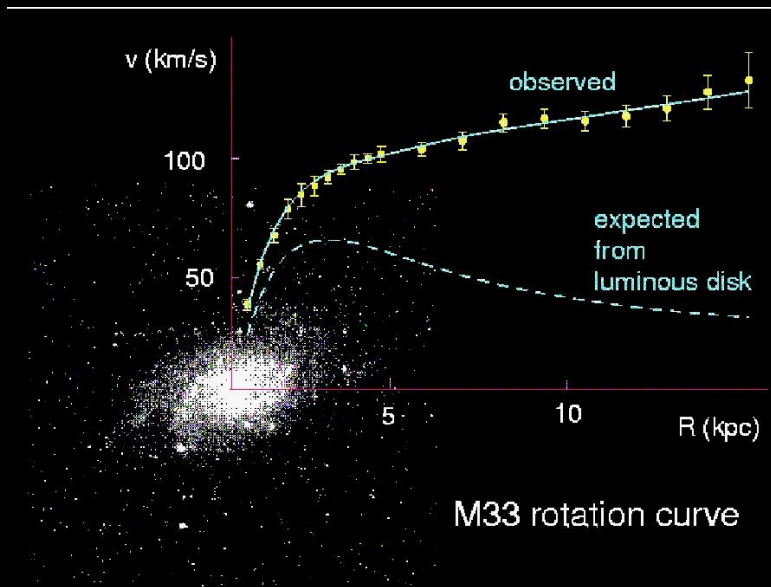


L'univers ultra-profond

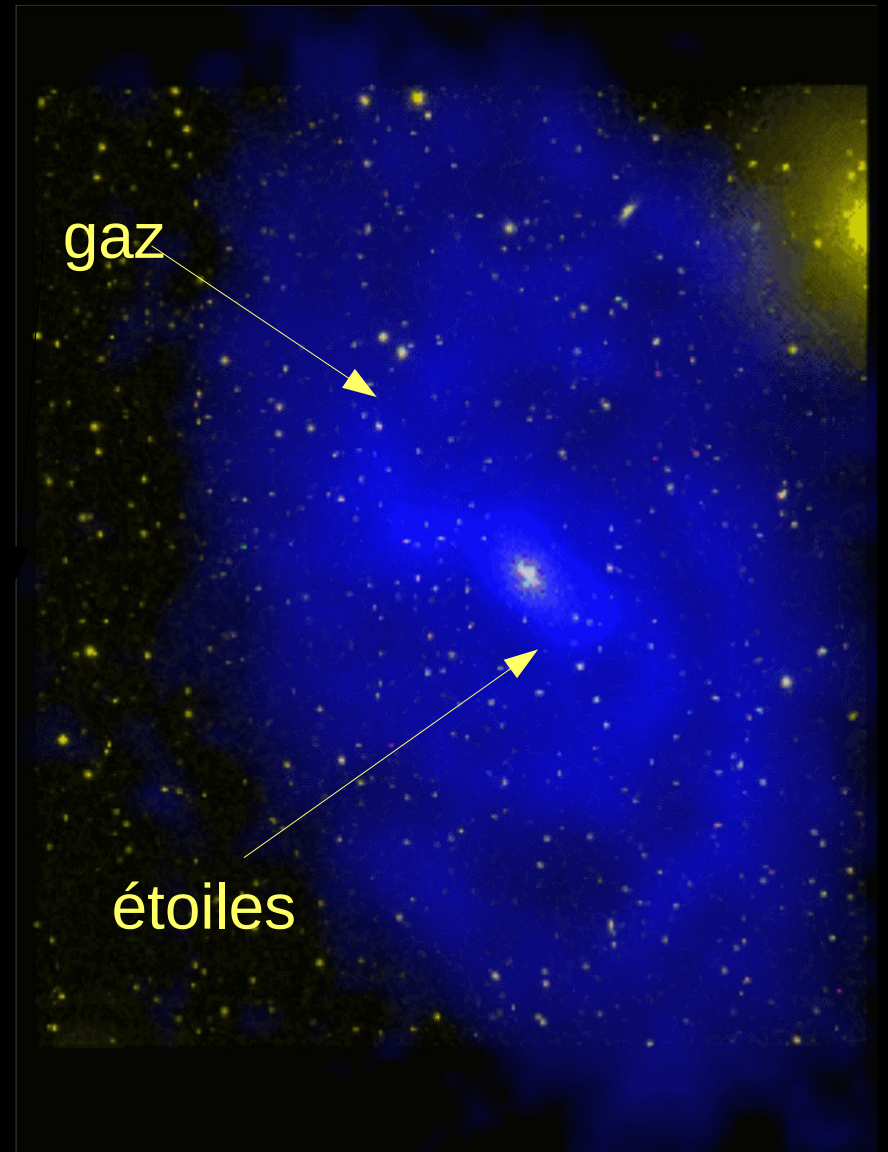


Rotation des galaxies spirales

Problème de la matière sombre



Rotation des galaxies spirales



Résumé

- Les galaxies sont une étape dans la formation des structures de plus en plus complexes dans l'univers
- Cette étape est indispensable pour former de nombreuses générations d'étoiles, qui sont elles nécessaires pour fabriquer les éléments lourds (C,N,O...), à leur tour indispensables pour former des poussières, ainsi que les planètes telluriques et la vie
- Les galaxies sont assez massives pour jouer le rôle de creuset de formation de planètes et de vie
- Mais seulement ~ 10-50% de la matière composant les galaxies (1% de l'univers) est identifiée !