

La Voie Lactée et le Monde des Galaxies

Daniel Pfenniger



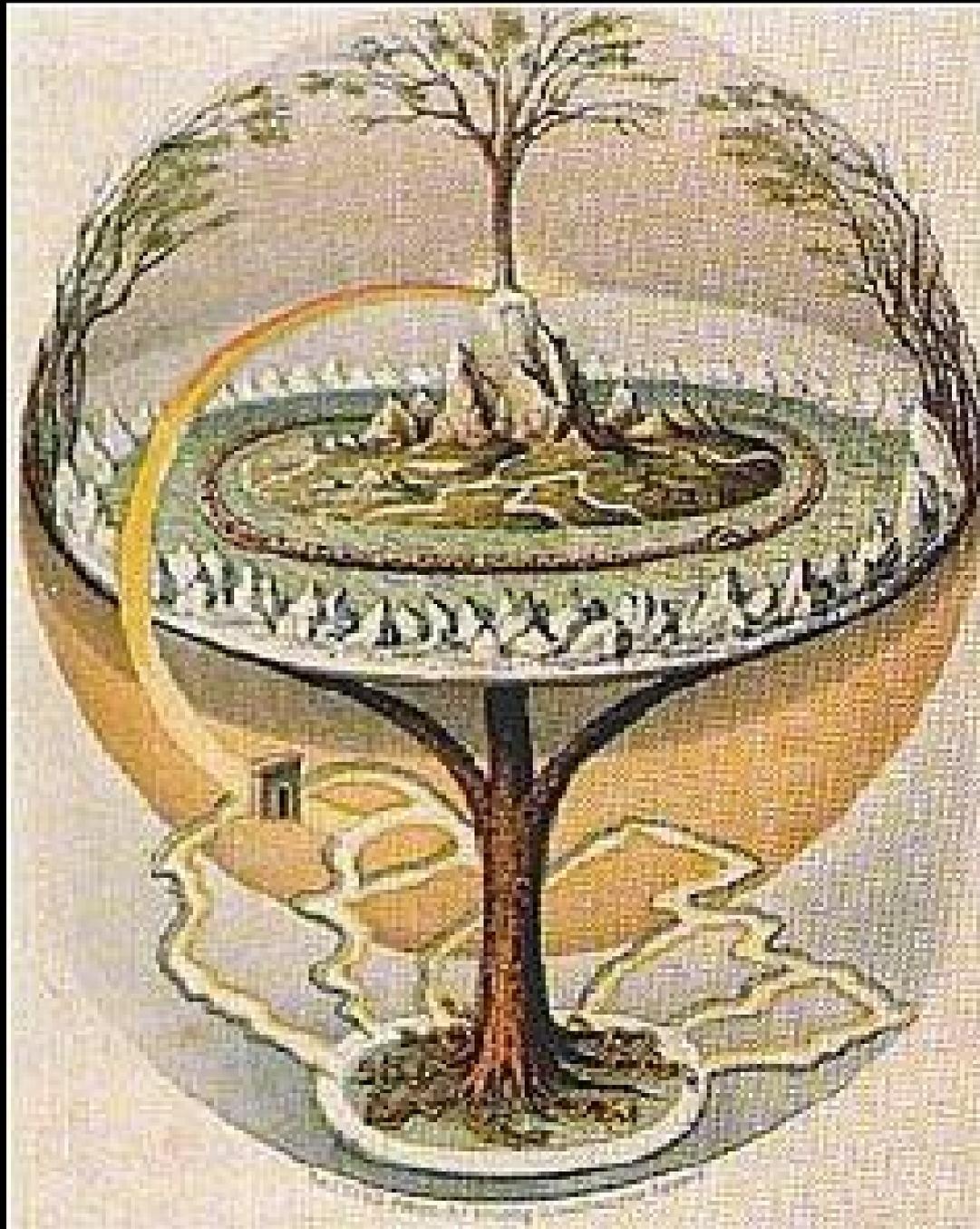
Observatoire de Genève

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



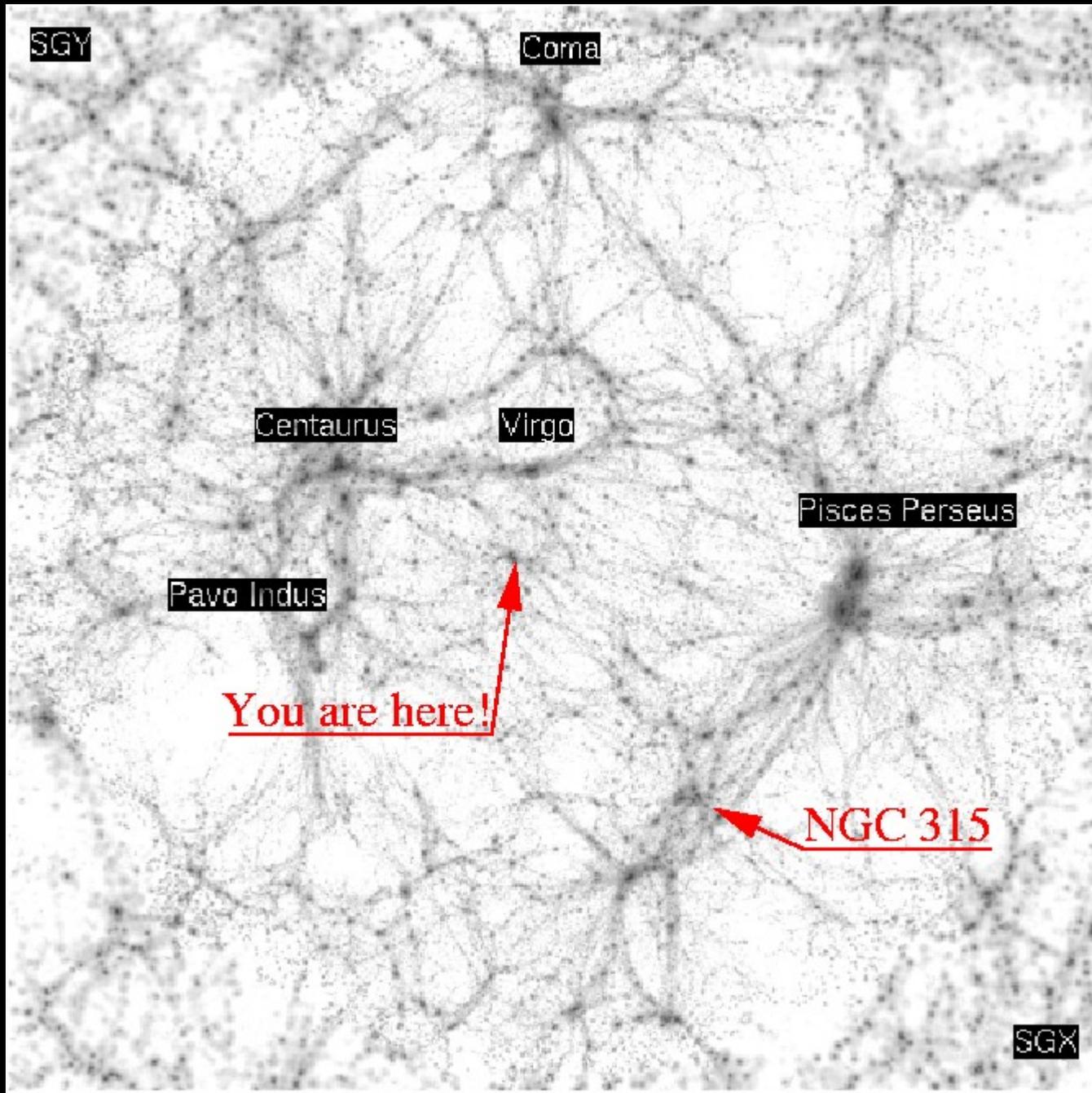
Terre plate



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



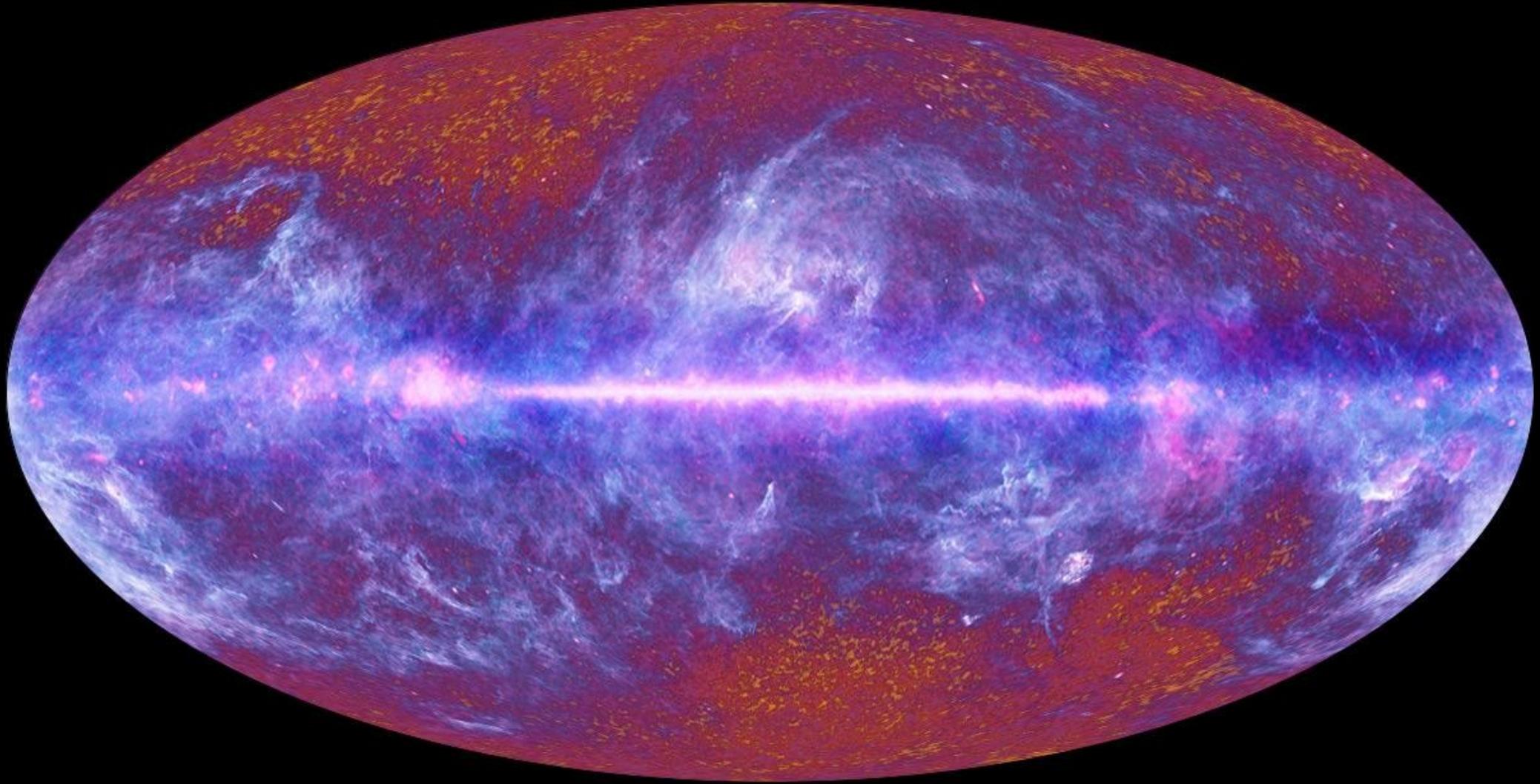
100'000 année-lumière $\sim 10^{18}$ km = 1 milliard de milliards de km

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 :



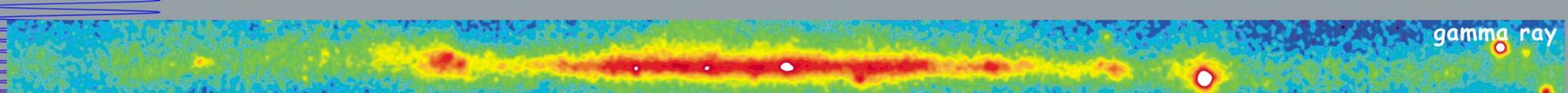
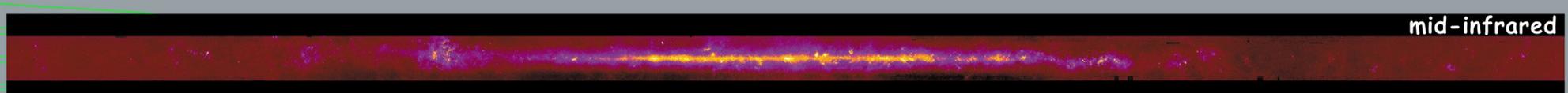
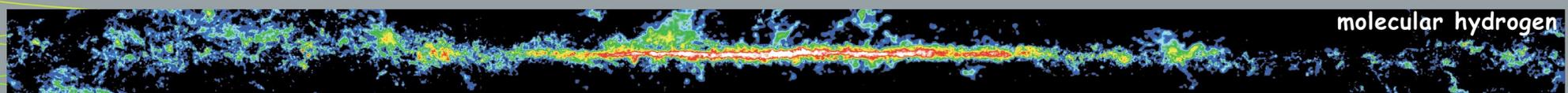
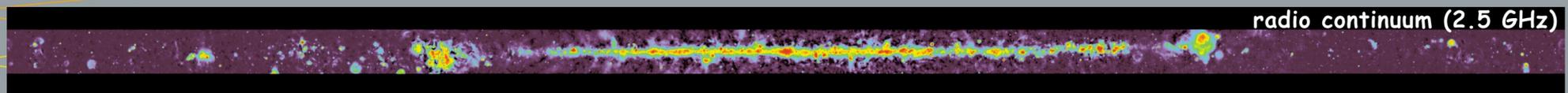
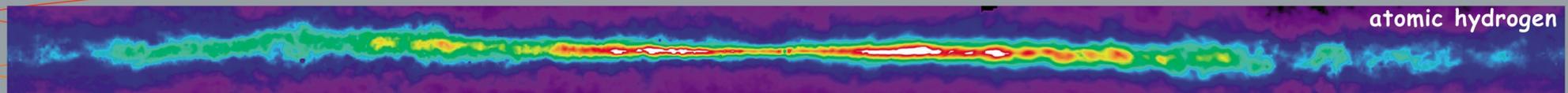
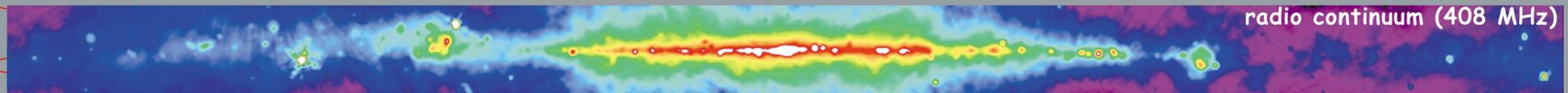
de la poussière froide presque partout dans la Voie Lactée,
et le fond cosmique en arrière-plan !

La Nébuleuse de l'Aigle : lumière visible



La Nébuleuse de l'Aigle : lumière infrarouge



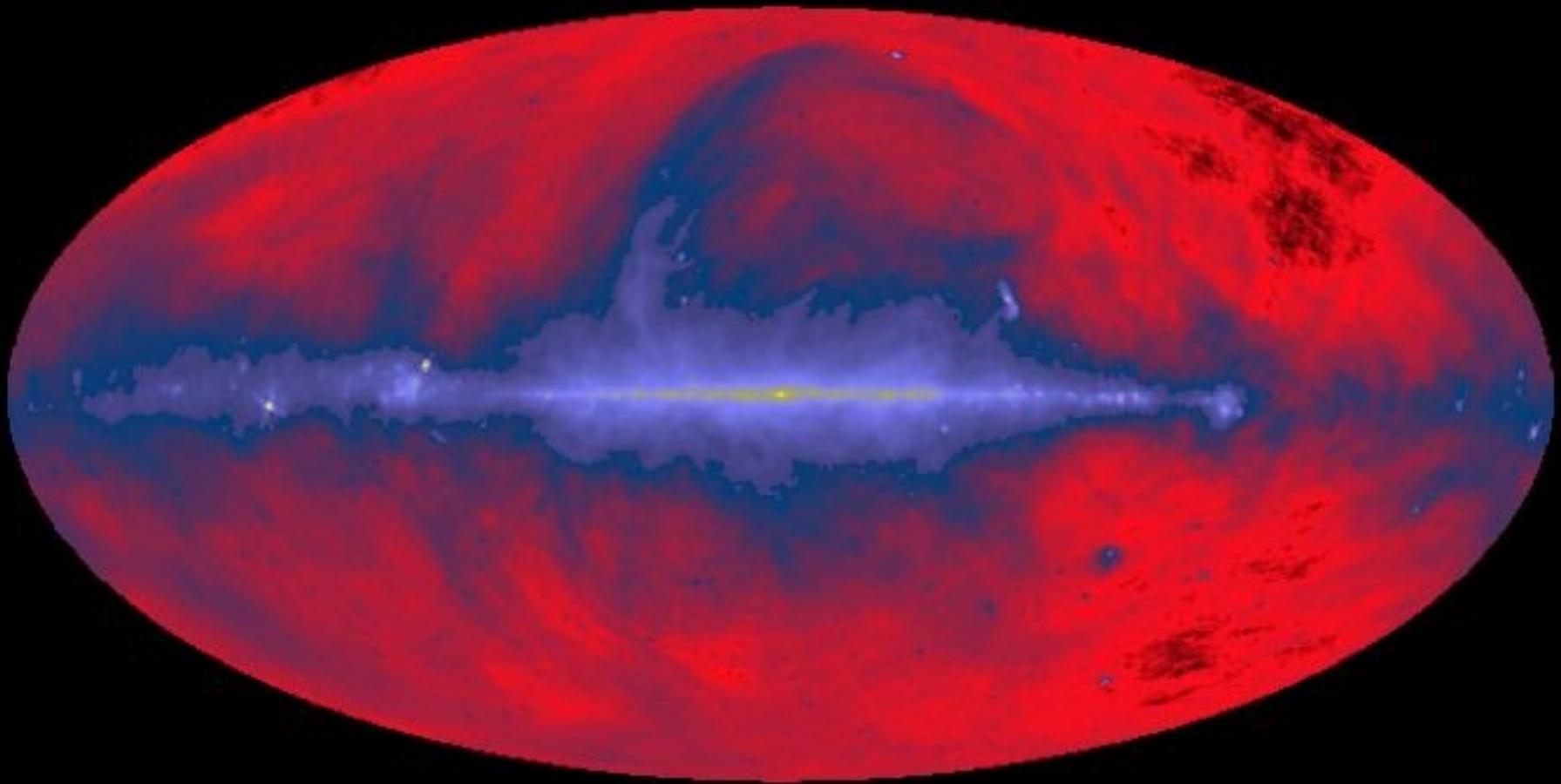


<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>

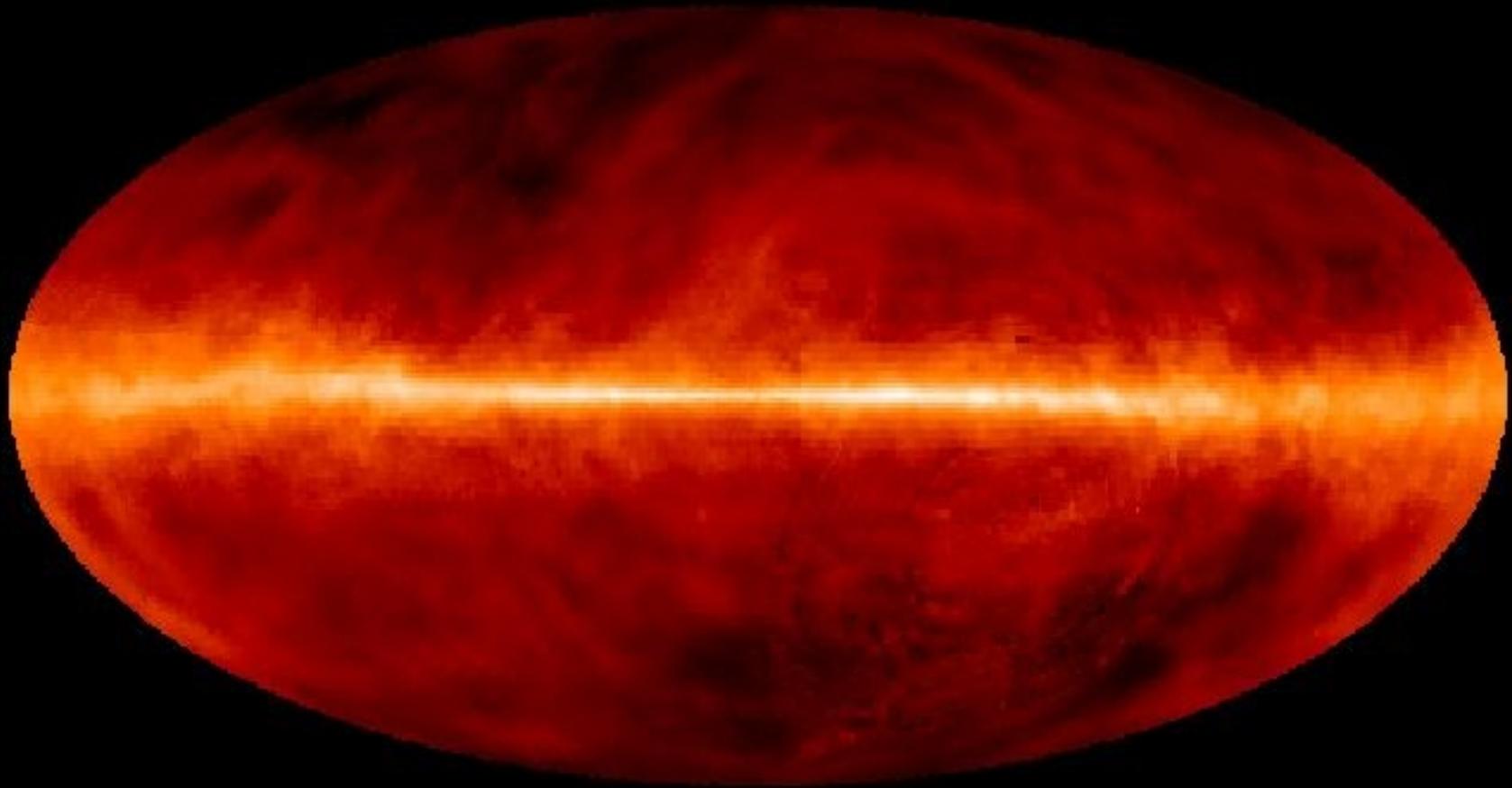


Multiwavelength Milky Way

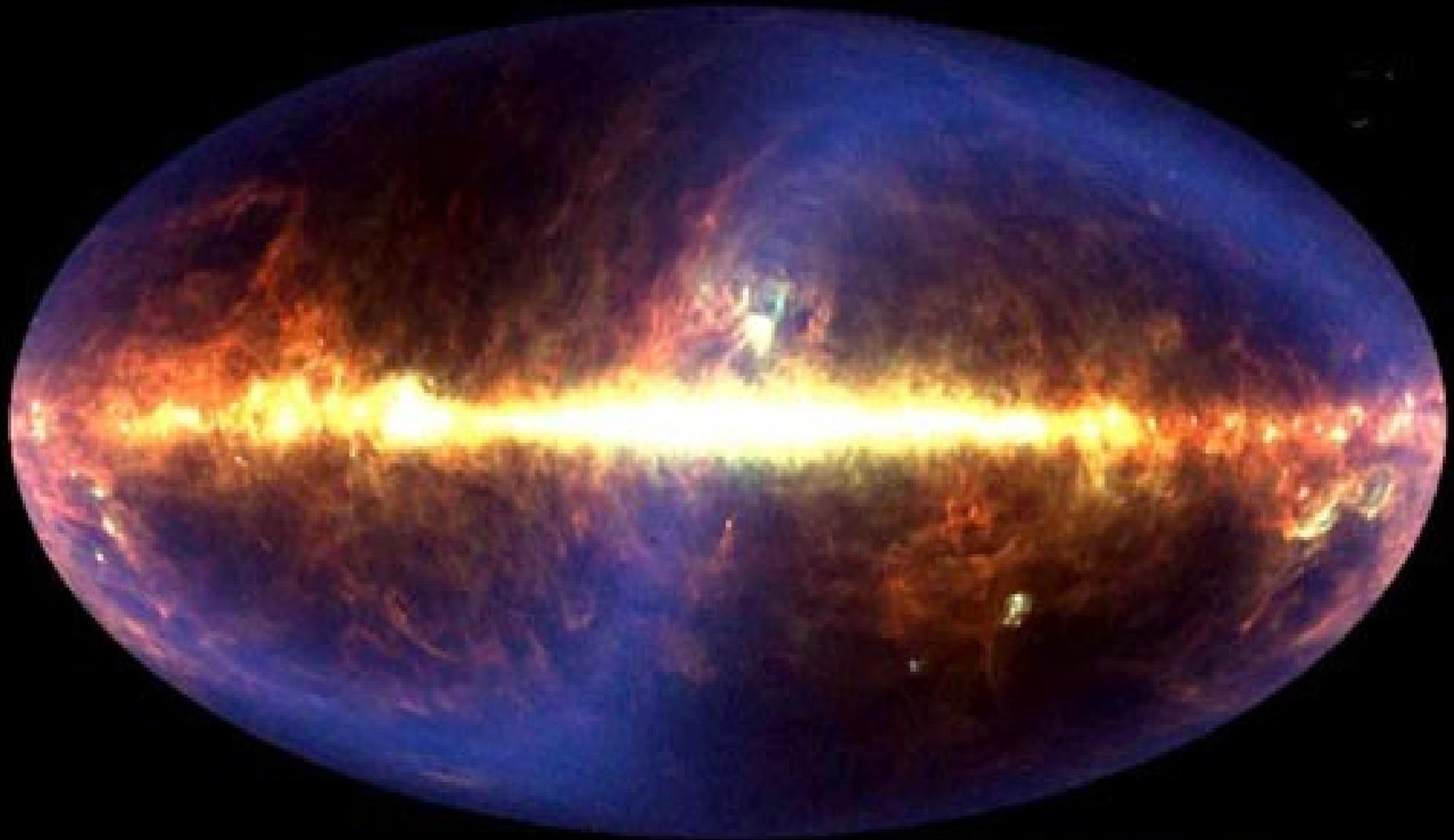
Le ciel multicolore, radio



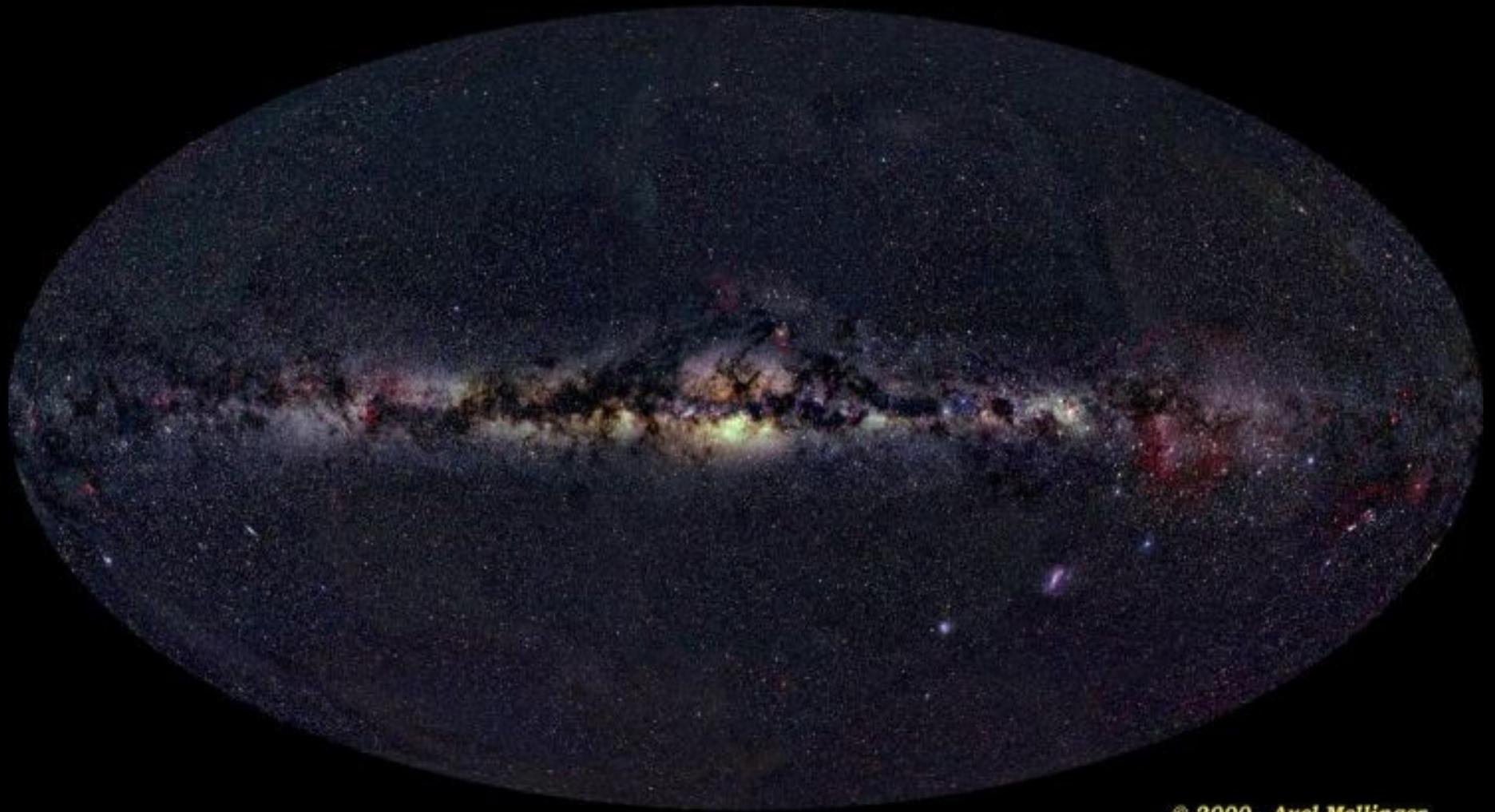
Le ciel multicolore, H 21cm



Le ciel multicolore, infrarouge

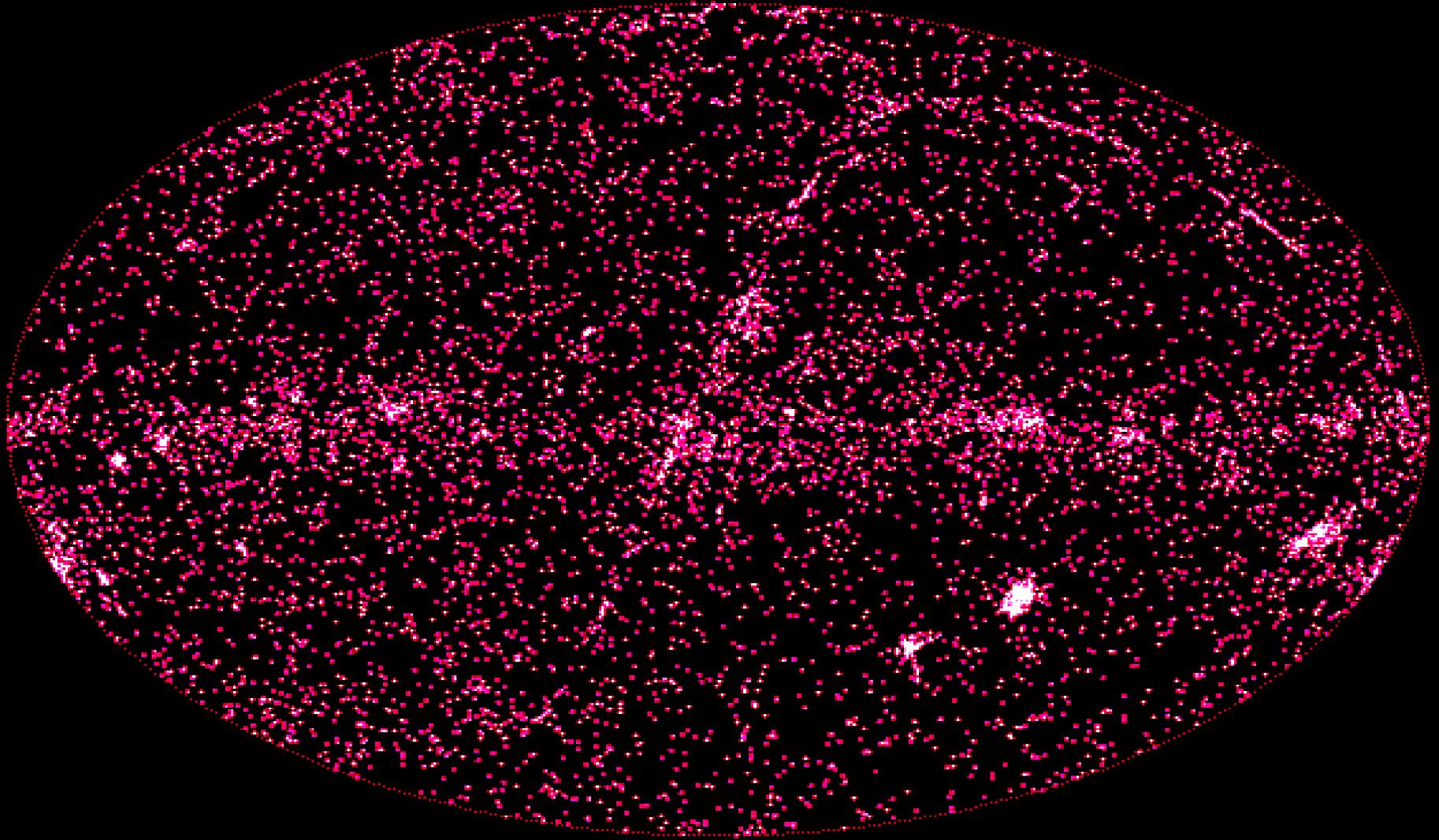


Le ciel multicolore, visible

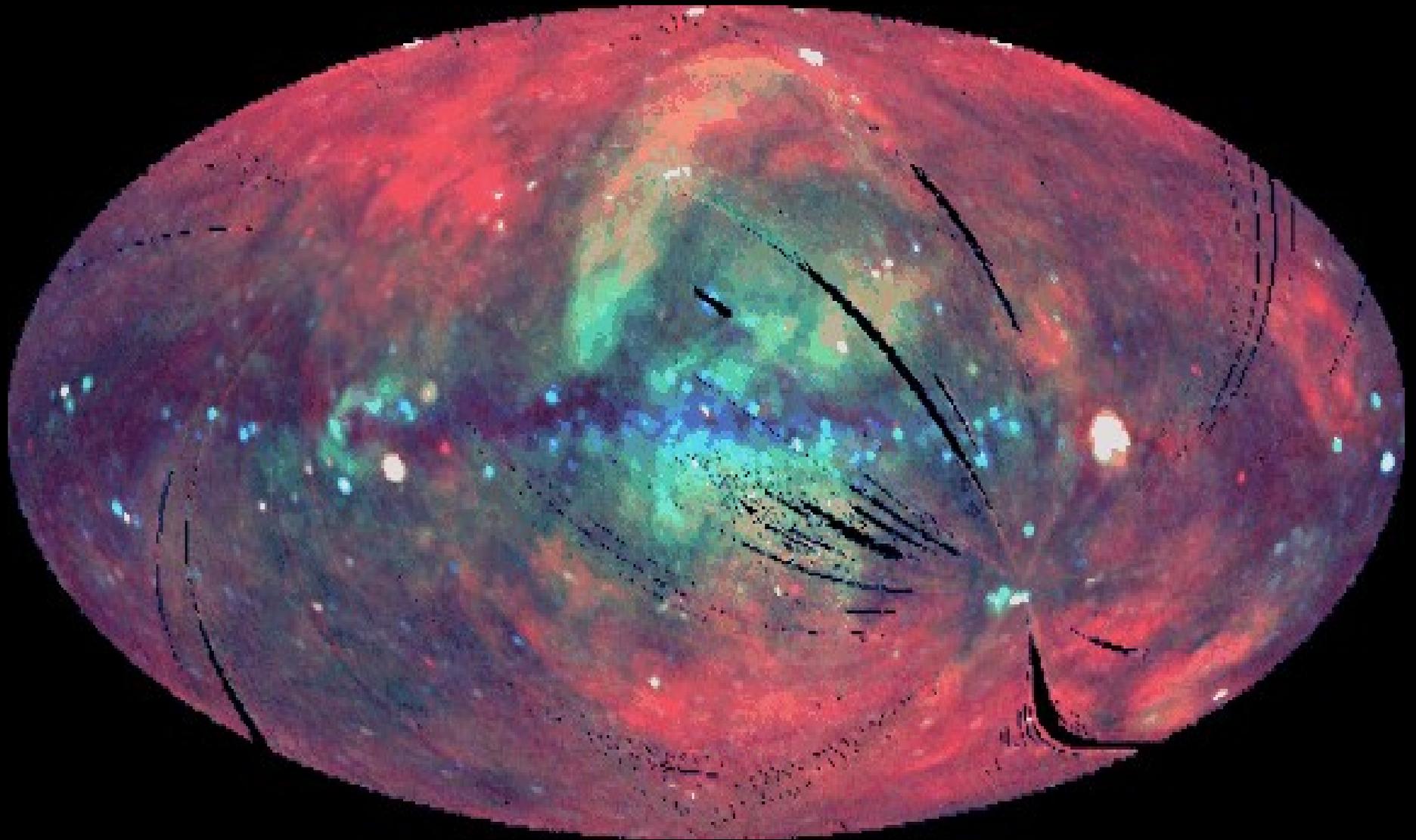


© 2000, Axel Mellinger

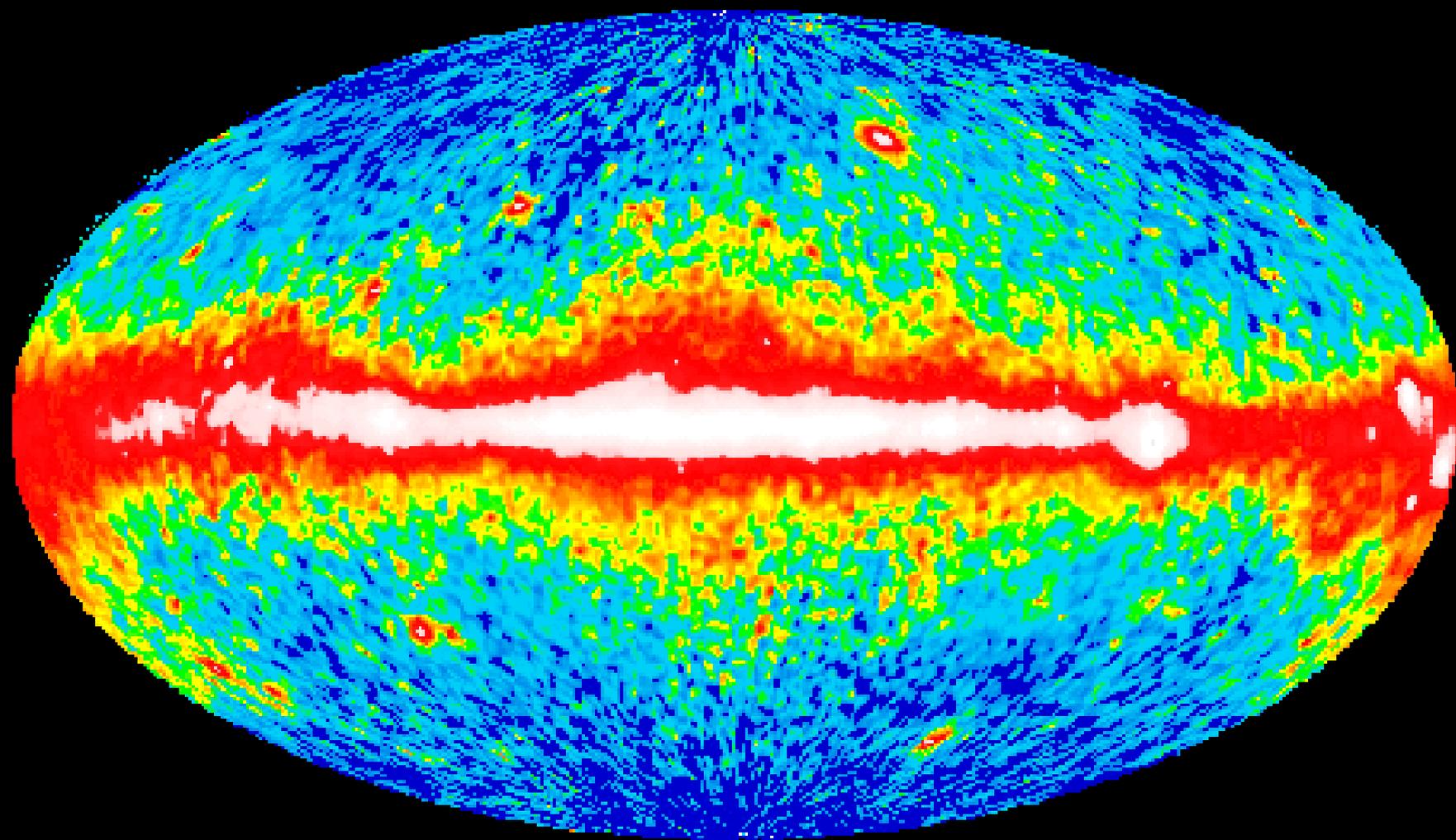
Le ciel multicolore, UV



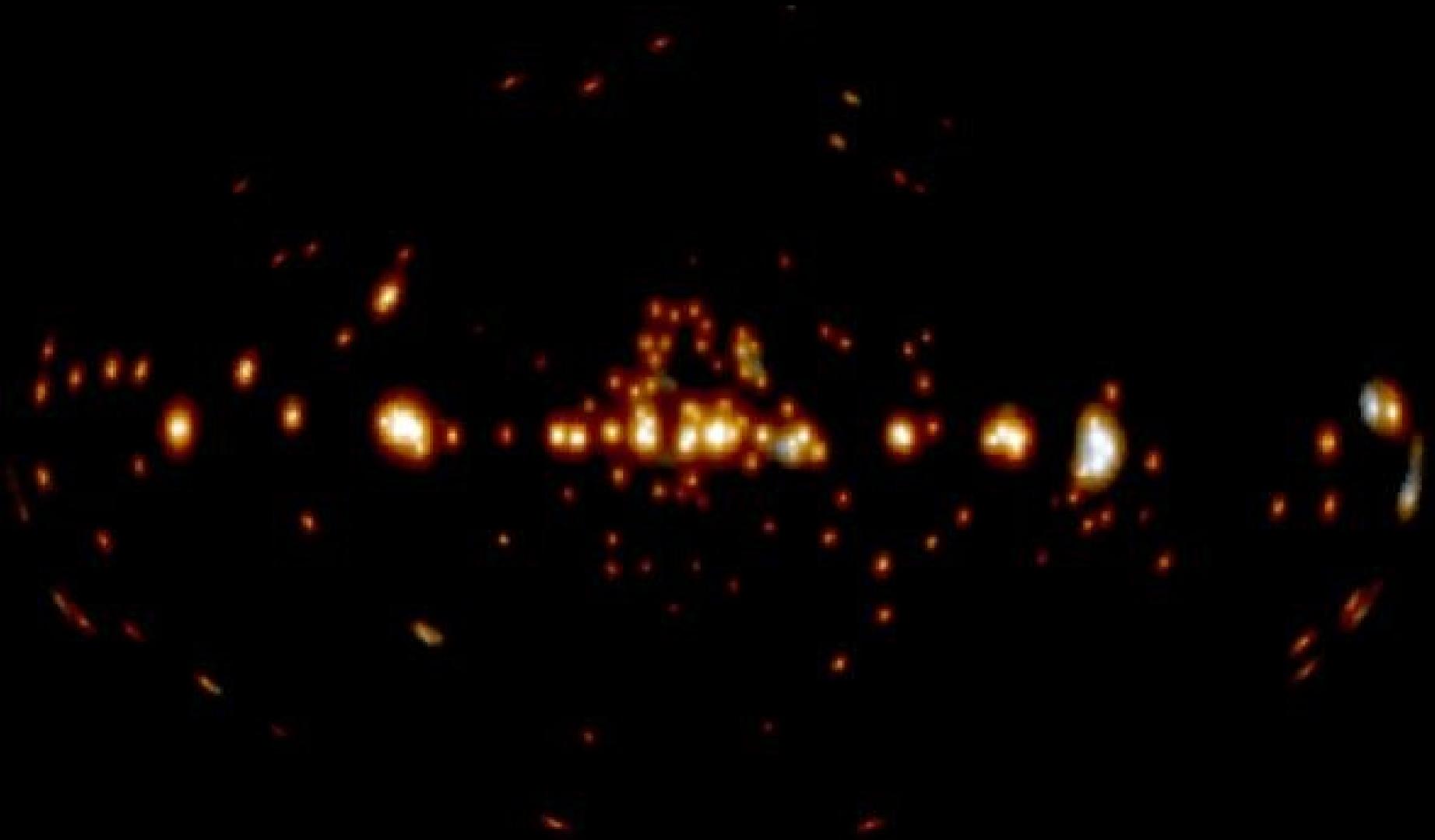
Le ciel multicolore, rayons X



Le ciel multicolore, gamma



Le ciel multicolore, gamma



Que font les galaxies ?

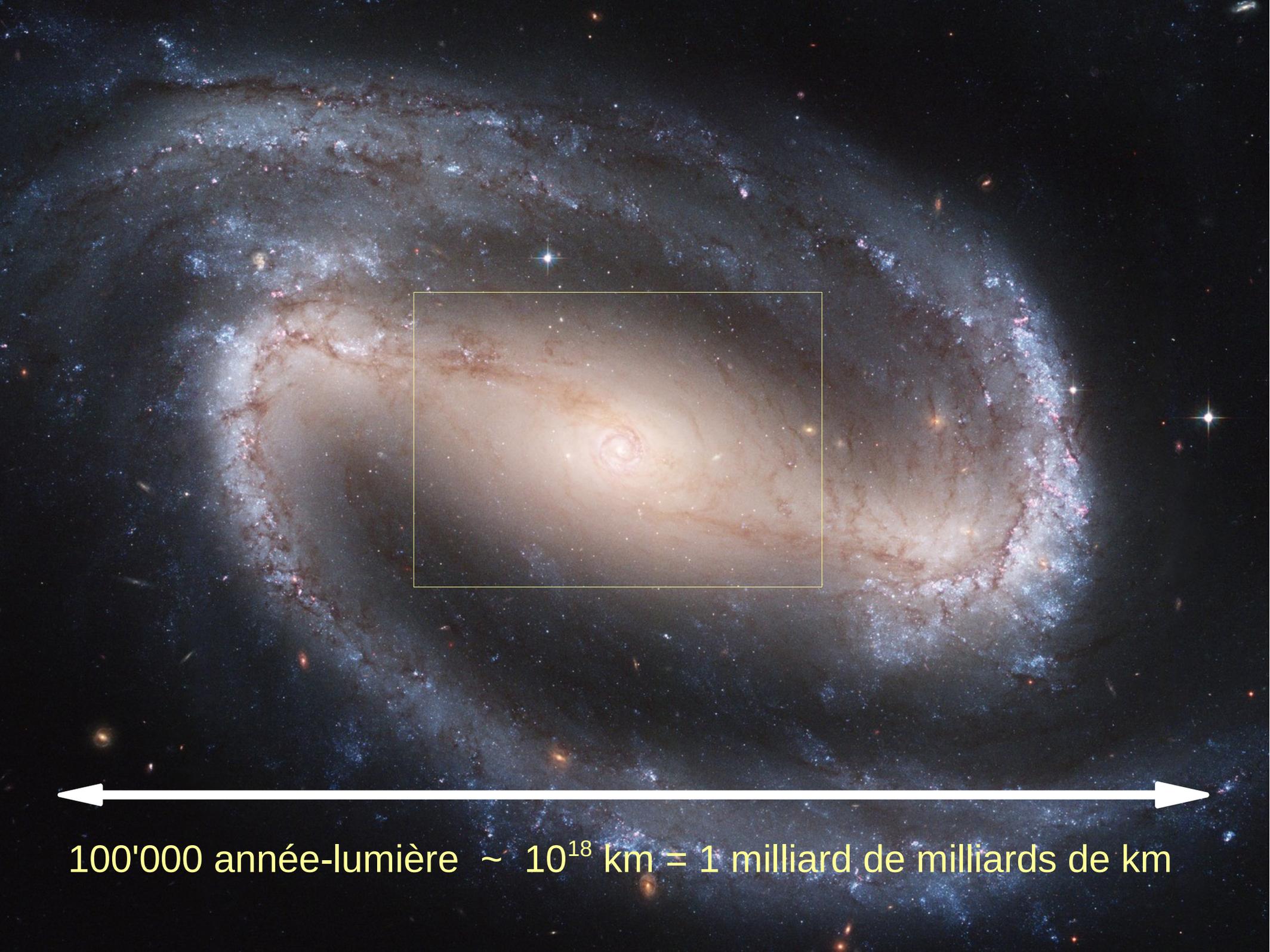
- Elles évoluent à différents rythmes
 - Formation d'étoiles : $\sim 1 / \text{an}$
 - Supernovae : $\sim 1 / 50 \text{ an}$
 - Temps de rotation : $2 \times 10^8 \text{ an}$
 - Formation / destruction de barre et spirales en $1 \times 10^9 \text{ an}$
 - Accrétion de gaz, doublement de la masse en $\sim 5 \times 10^9 \text{ an}$
 - 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) :

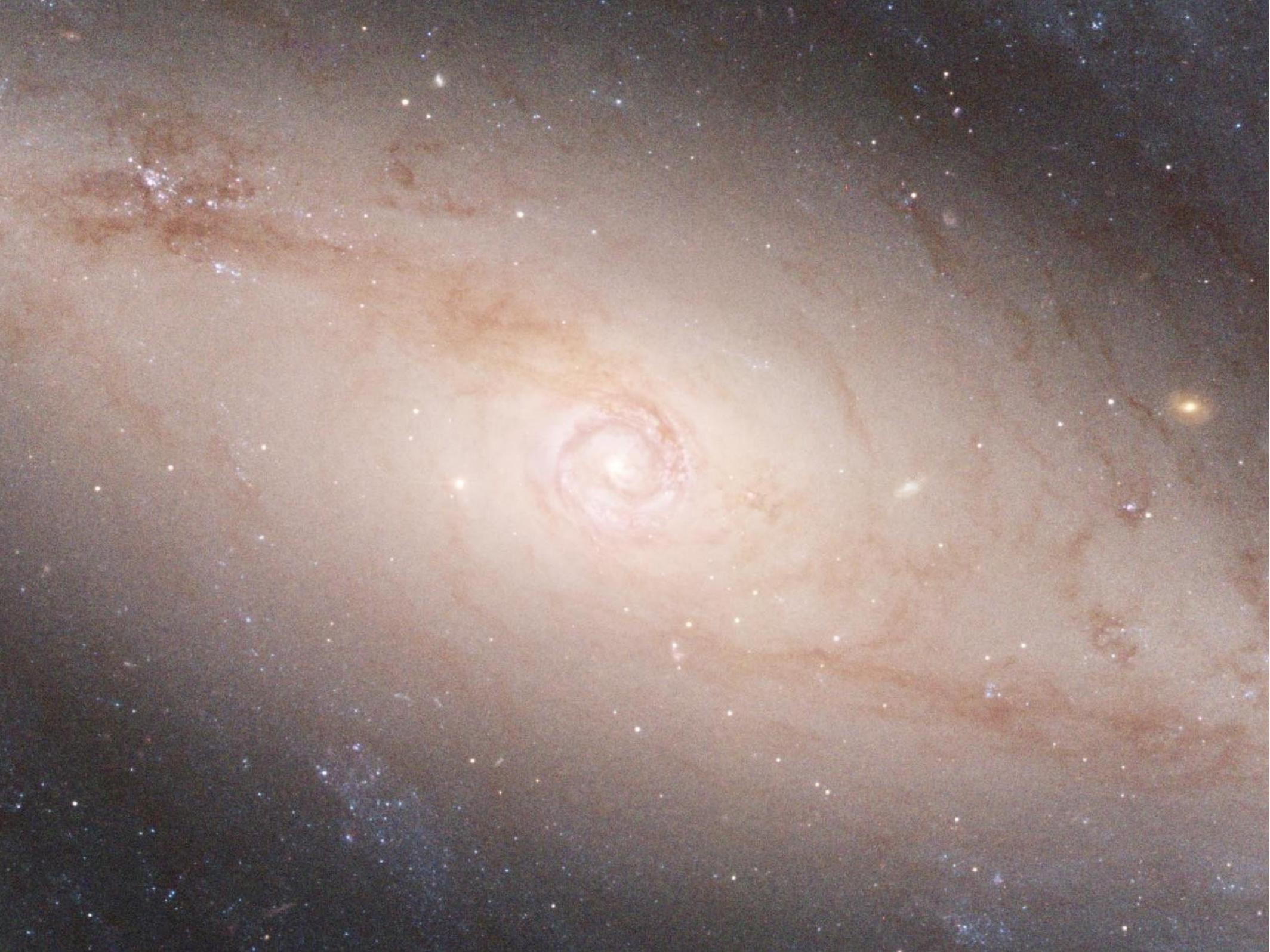
~100 milliards d'étoiles à 60 millions d'année-lumière



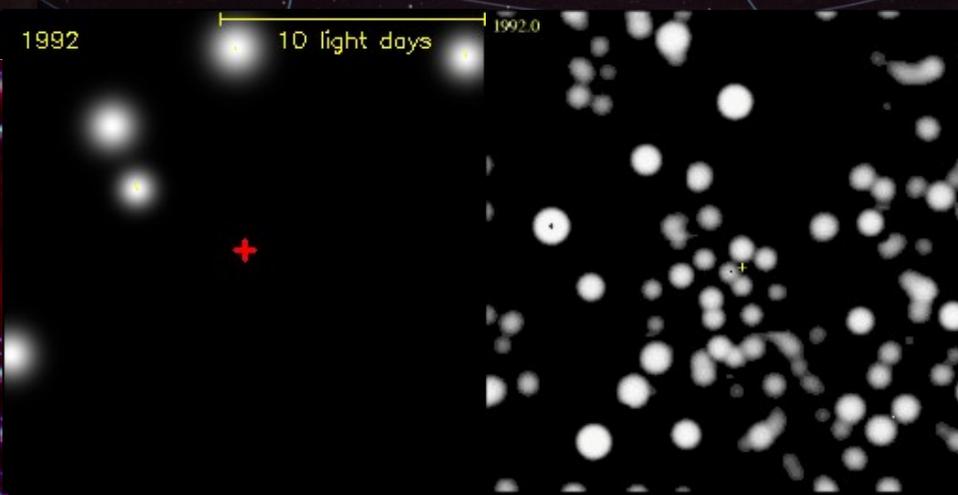
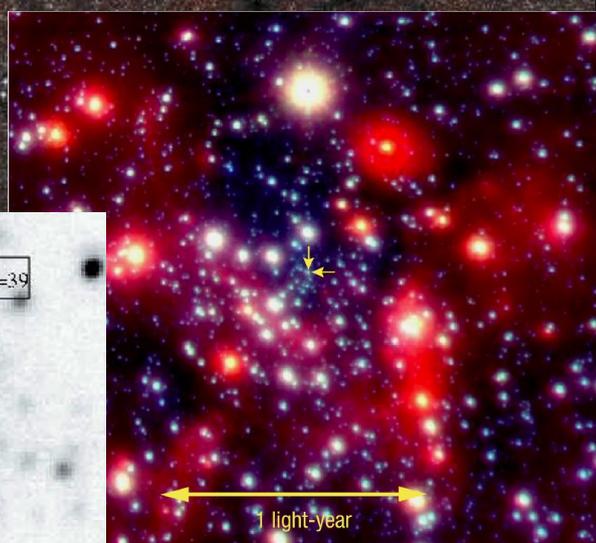
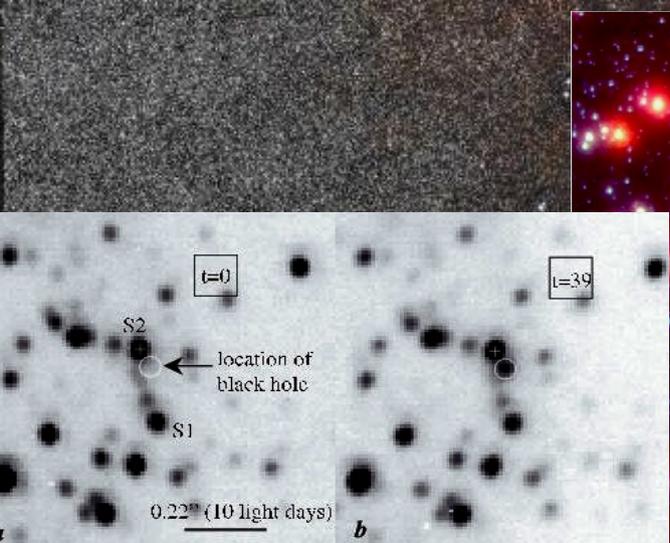
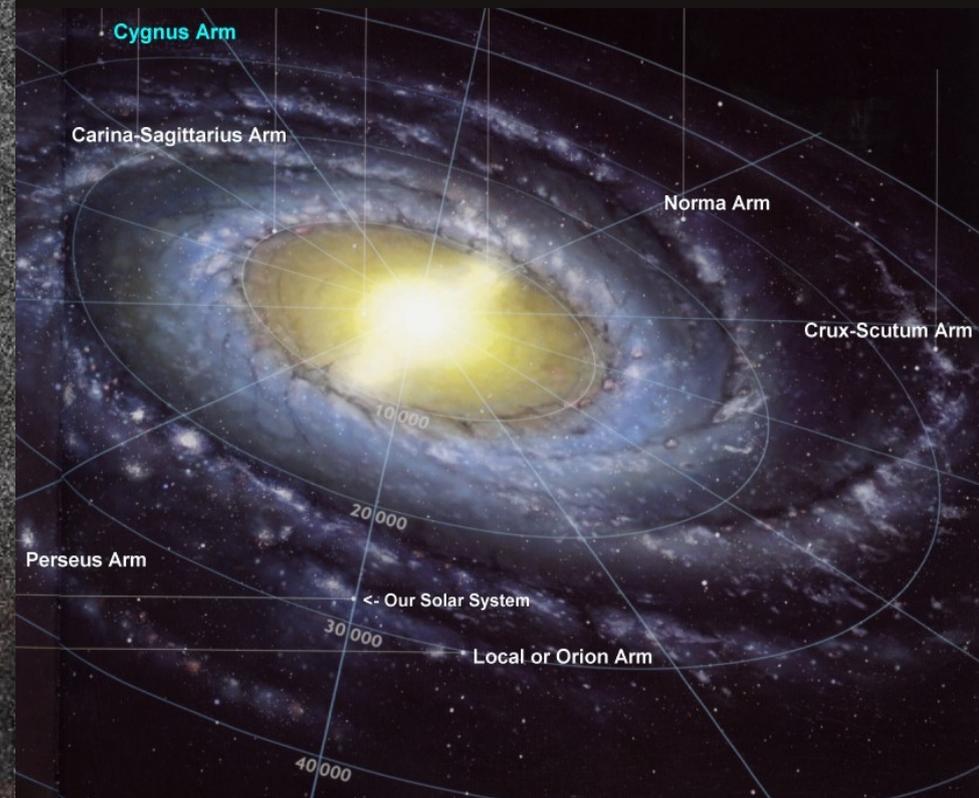
100'000 année-lumière $\sim 10^{18}$ km = 1 milliard de milliards de km



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



Trou noir au centre de la Voie Lactée



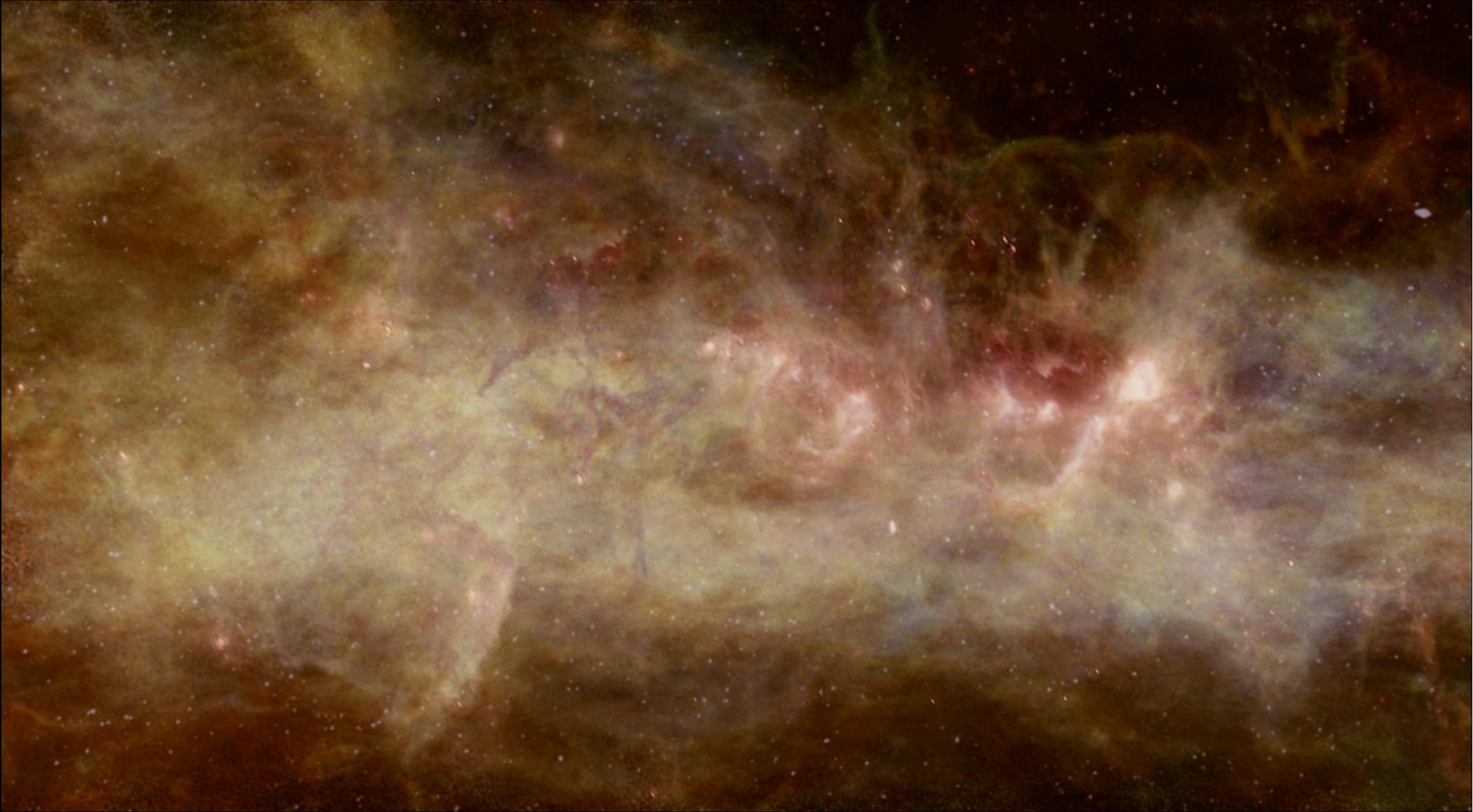
The Centre of the Milky Way
(VLT YEPUN + NACO)
ESO PR Photo 23a/02 (9 October 2002) © European Southern Observatory







La Voie Lactée en ondes radio de 21 cm



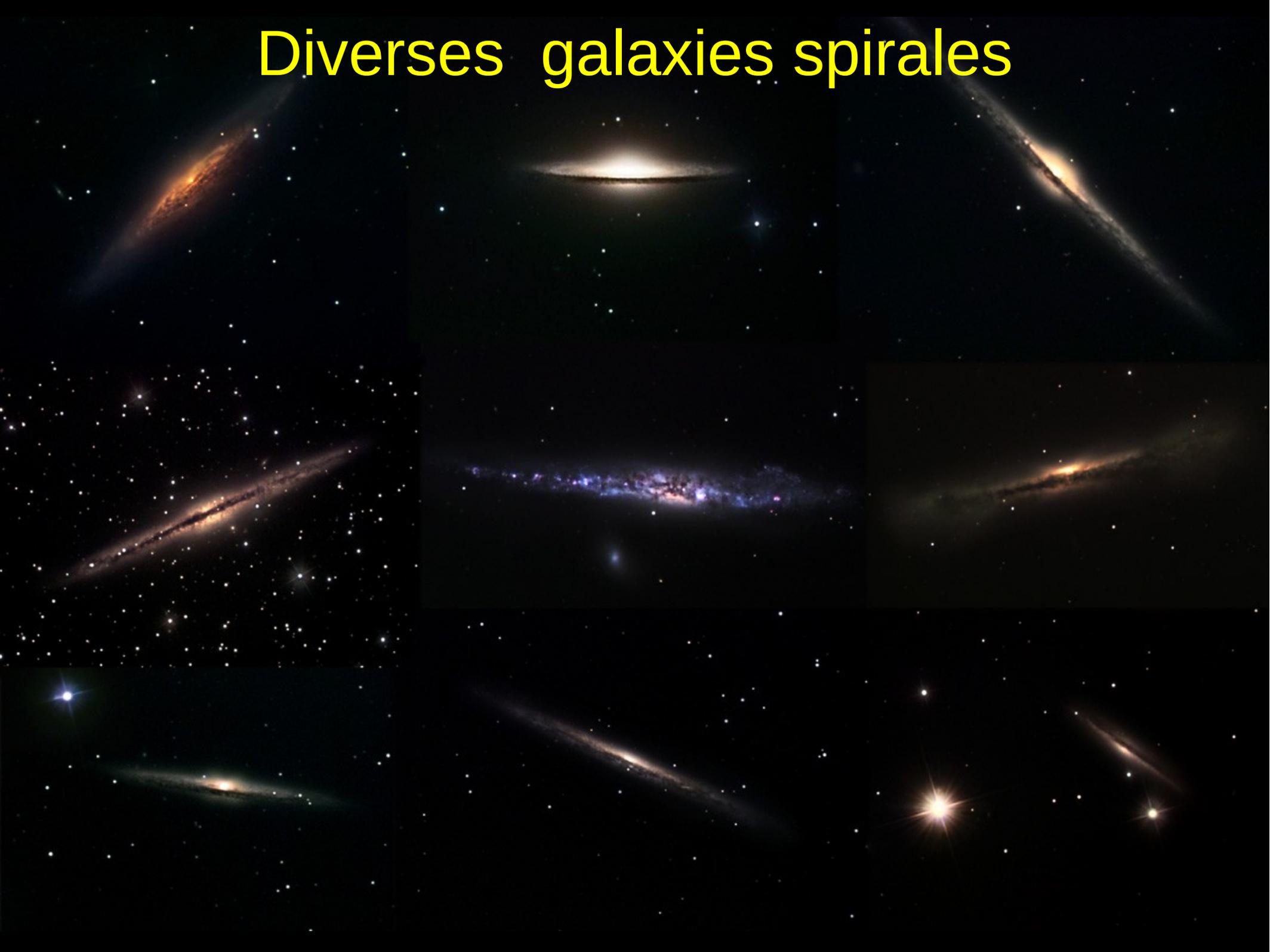
La Voie Lactée en infrarouge proche



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



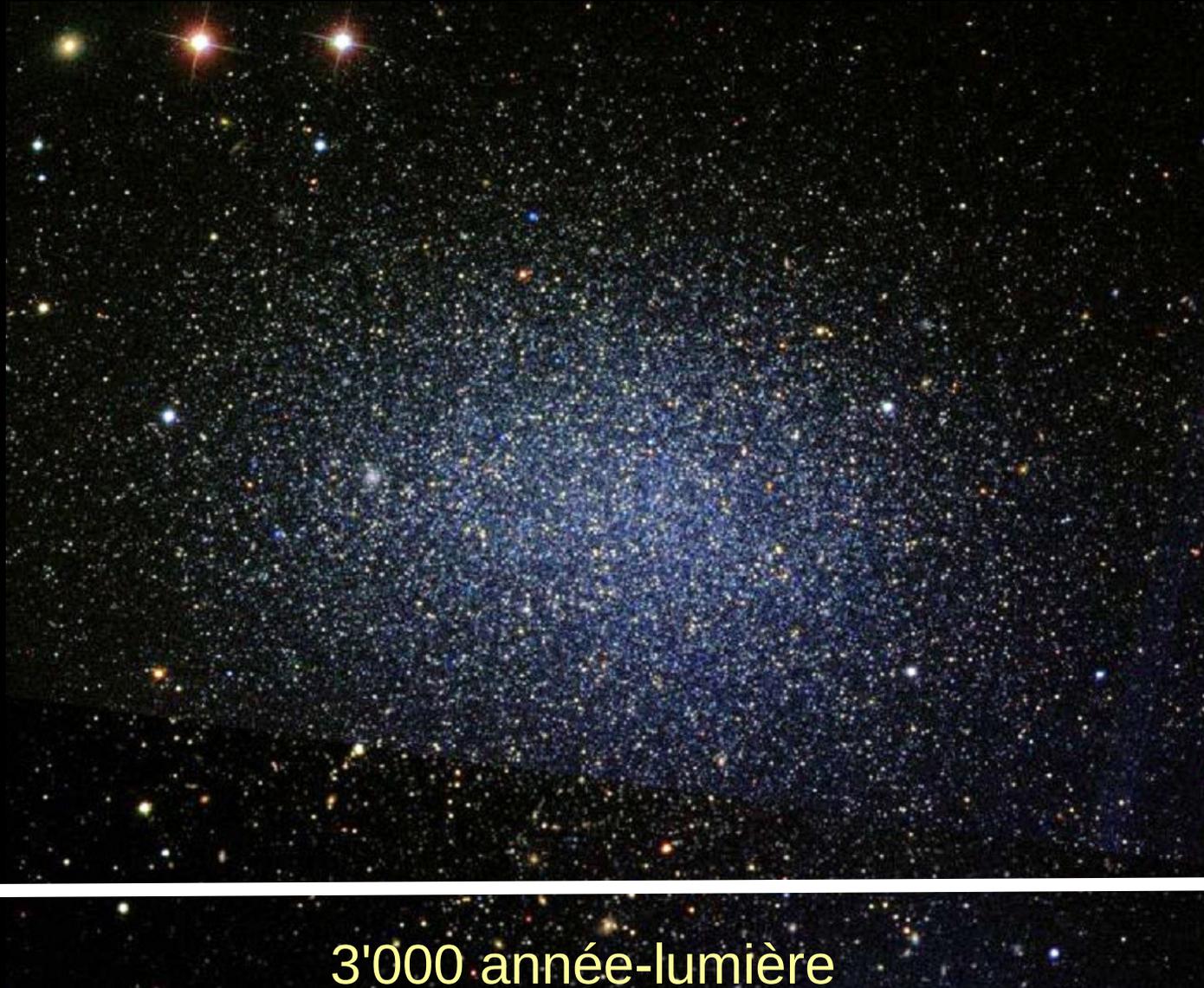
Diverses galaxies spirales



La galaxie lenticulaire du Sombrero

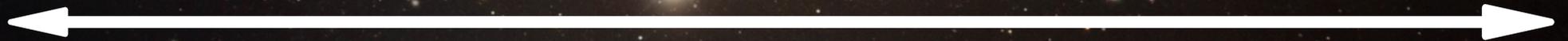


Galaxie sphéroïdale naine Leo 1



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



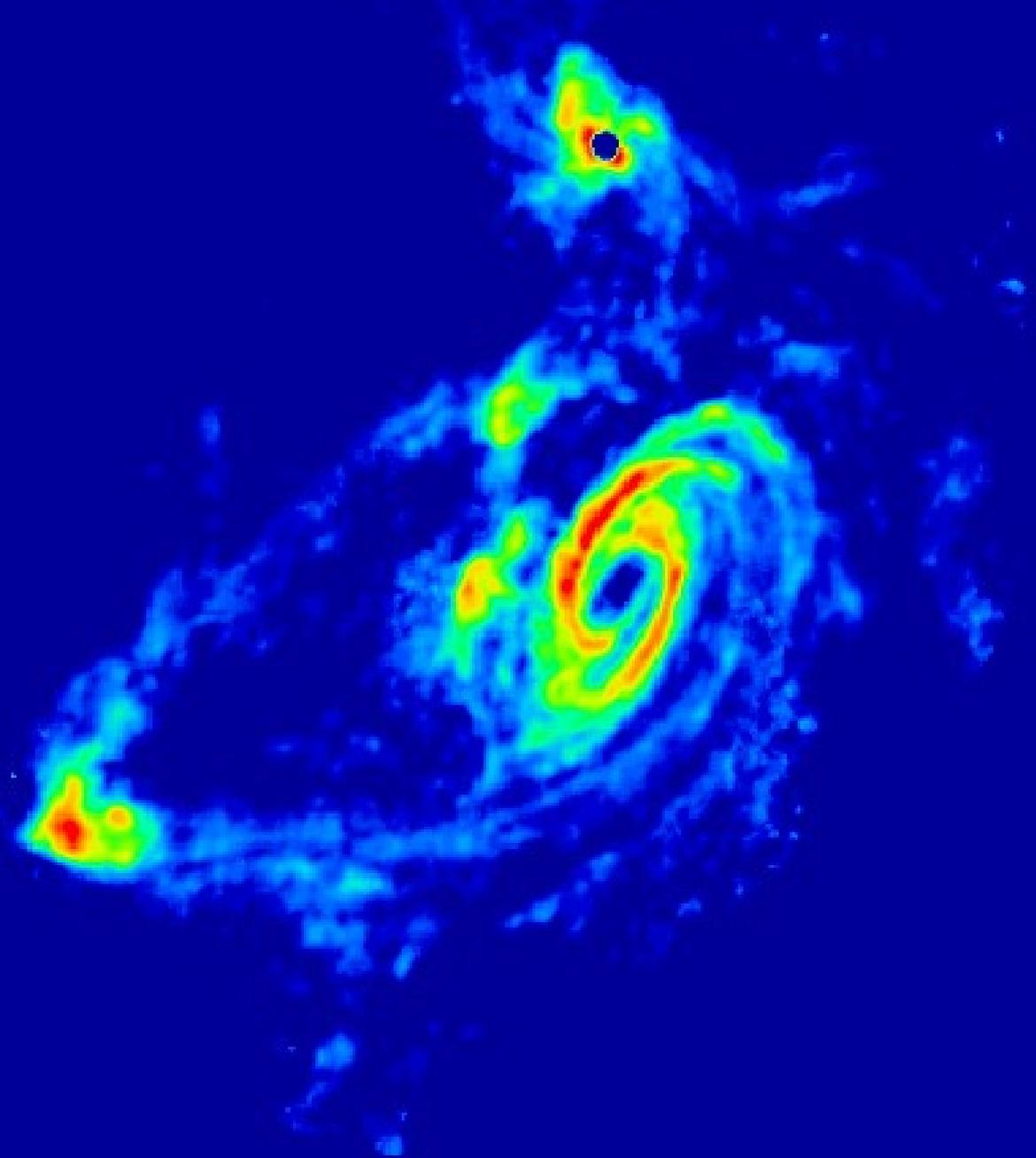
1 million d'année-lumière

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 vast cluster of galaxies. The galaxies are densely packed and exhibit various colors, including yellow, blue, and red. Several bright, multi-colored stars are visible, likely representing gravitational lensing events. A large white double-headed arrow at the bottom indicates a scale of 3 million light-years.

3 millions d'année-lumière

Interaction de galaxies : M51



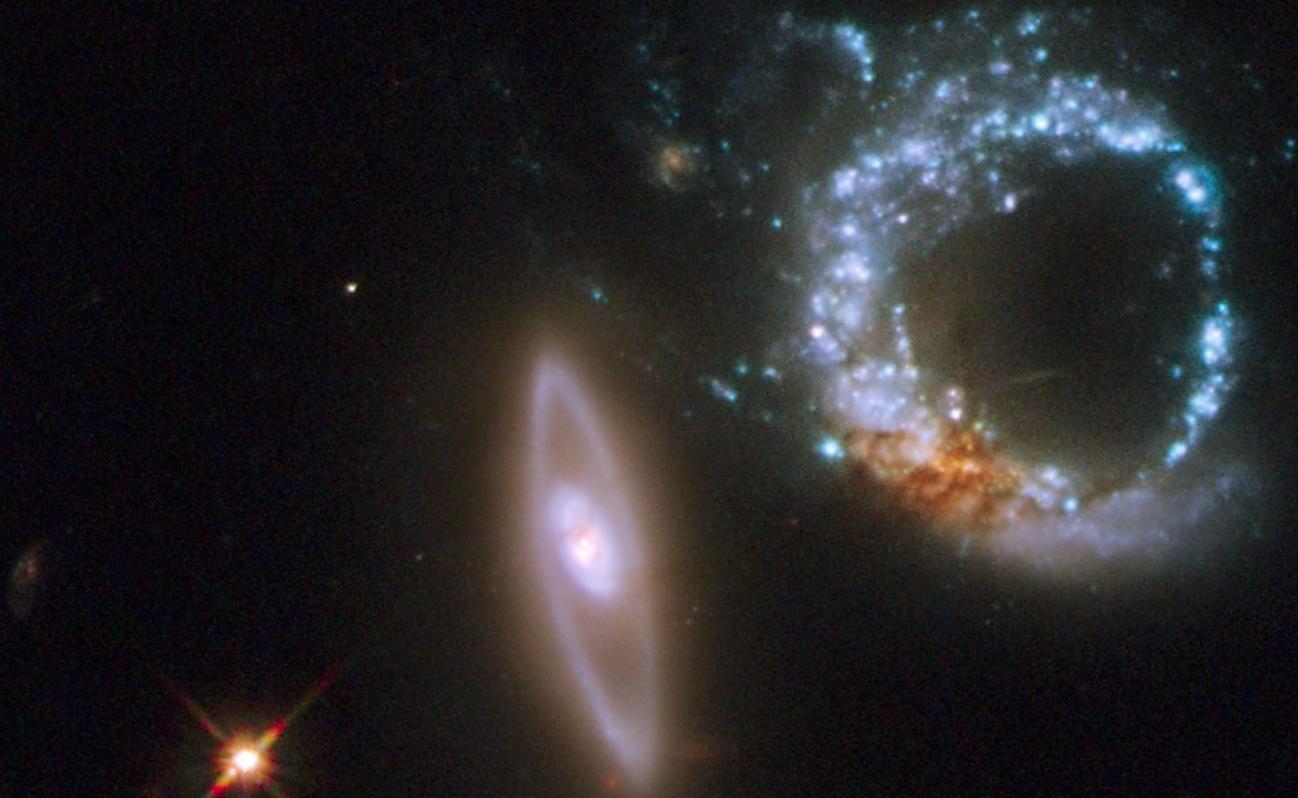
Interaction de galaxies : les Antennes



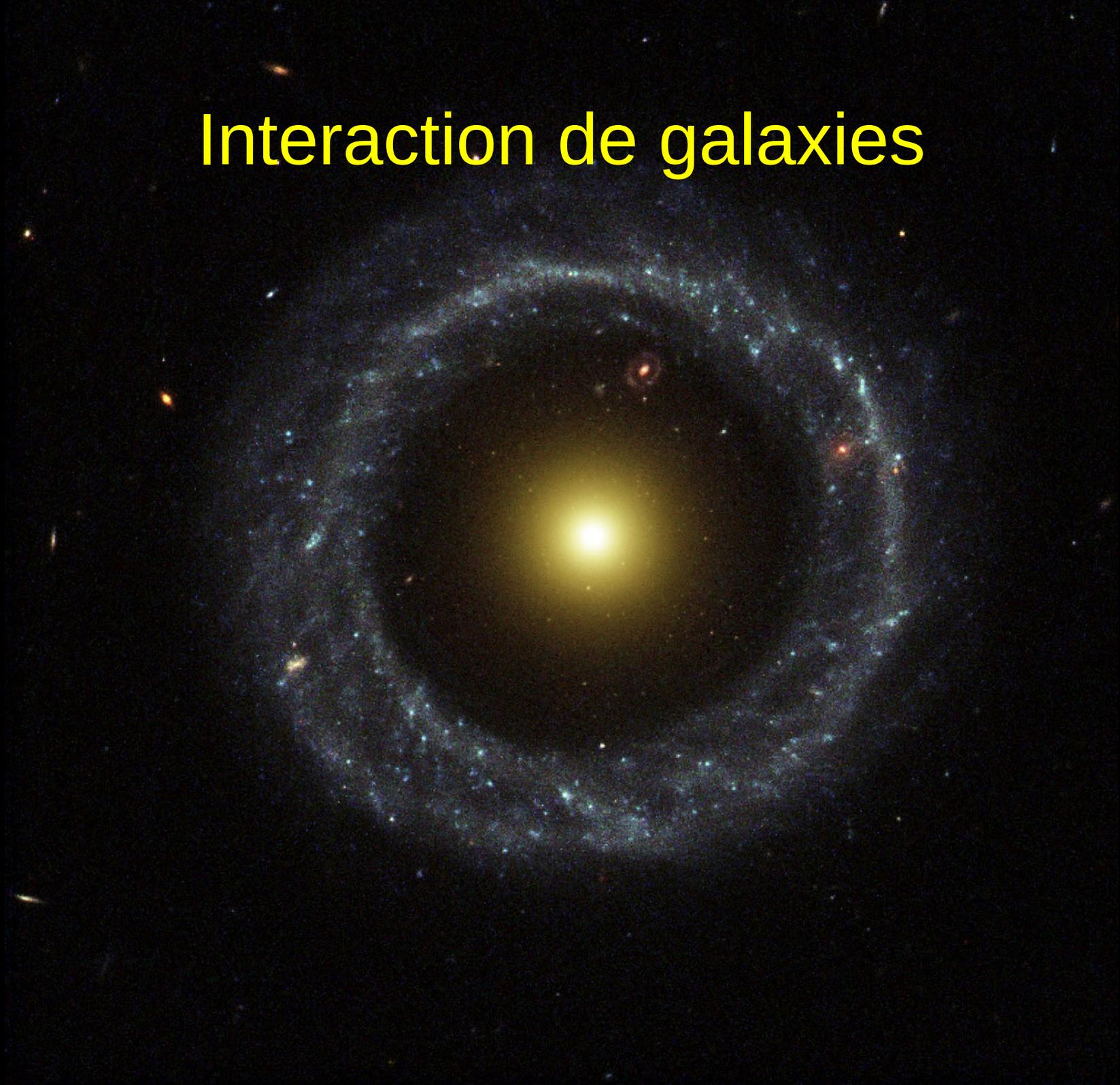
Interaction de galaxies : les Souris



Interaction de galaxies



Interaction de galaxies



Interaction de galaxies

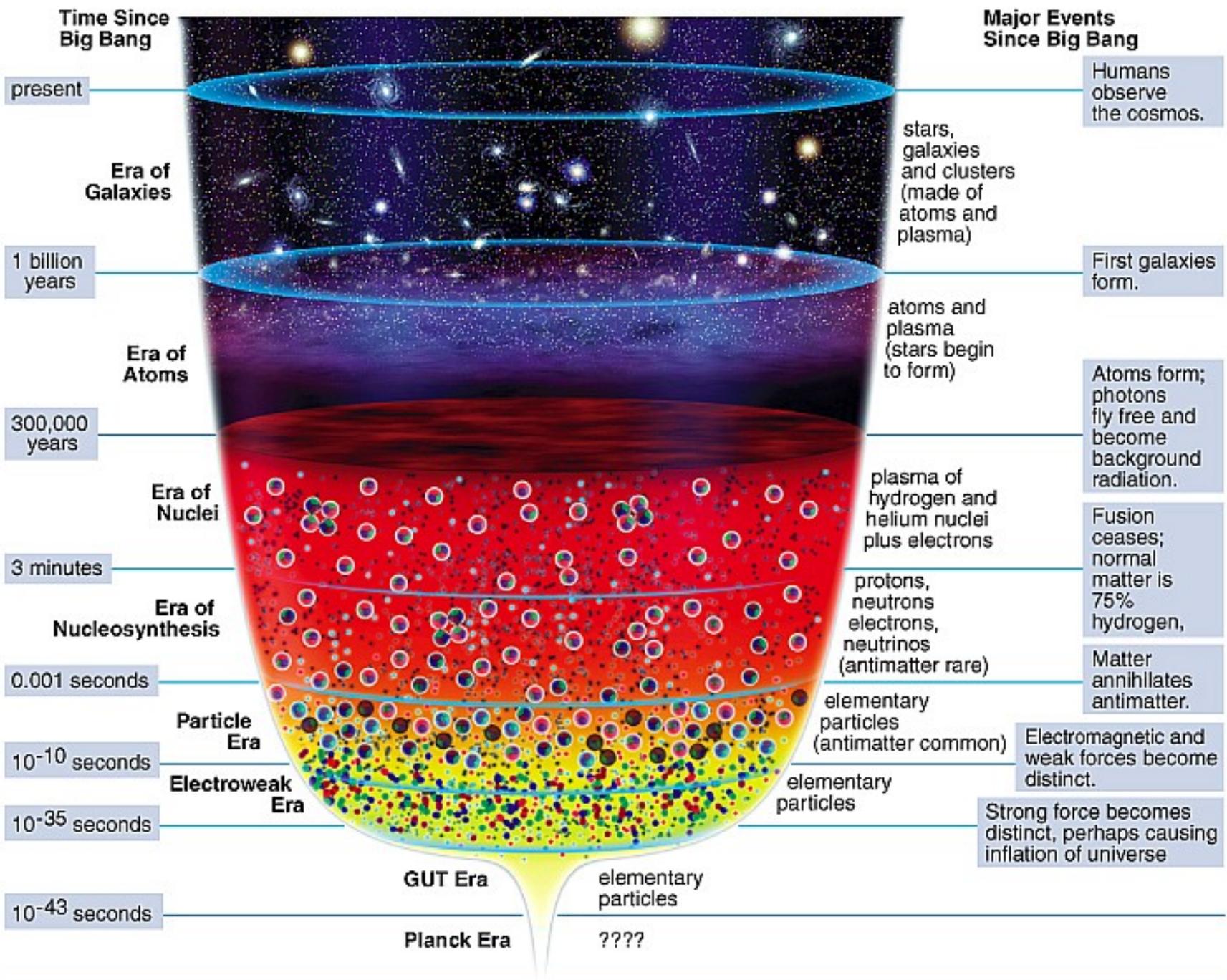


Interaction de galaxies

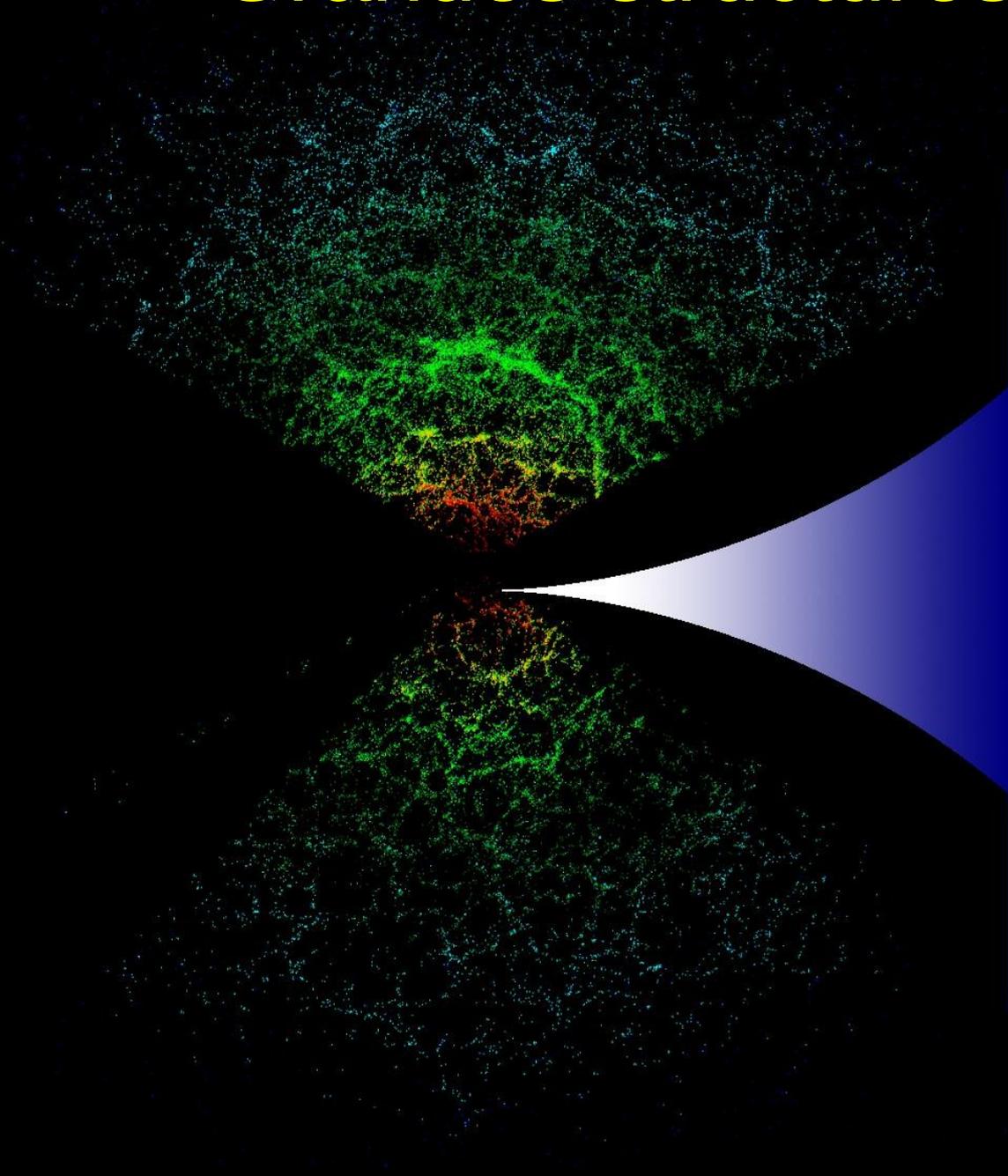


D'où viennent les galaxies ?

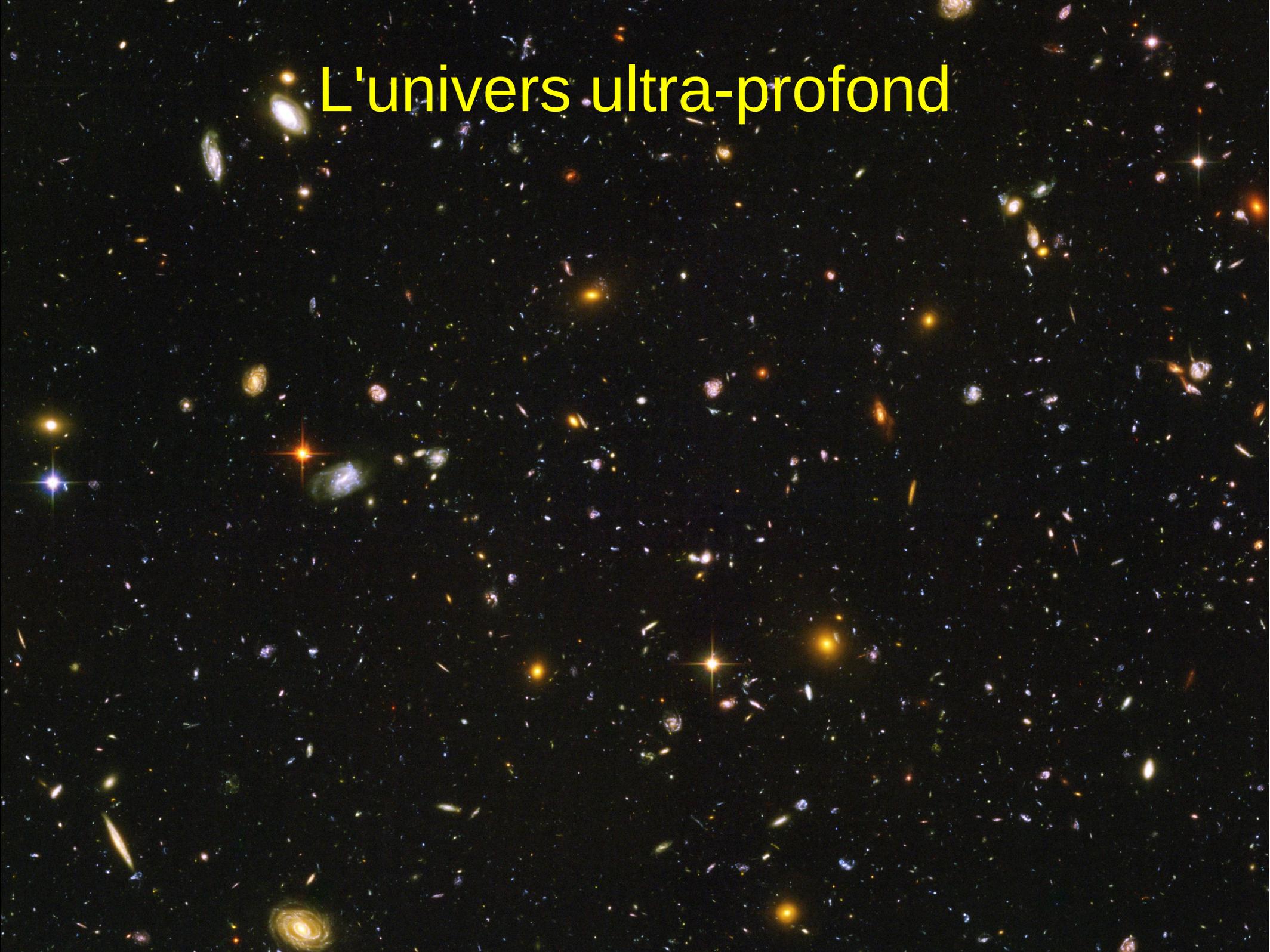
- Formation multi-échelles spatiales et temporelles des structures 300 millions d'années après le big-bang par instabilité gravitationnelle
- La formation par fusion est hiérarchique, il y a aussi en même temps évaporation
- Le taux de formation décroît avec le temps
- L'univers est ainsi parti d'un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



Grandes structures cosmologiques

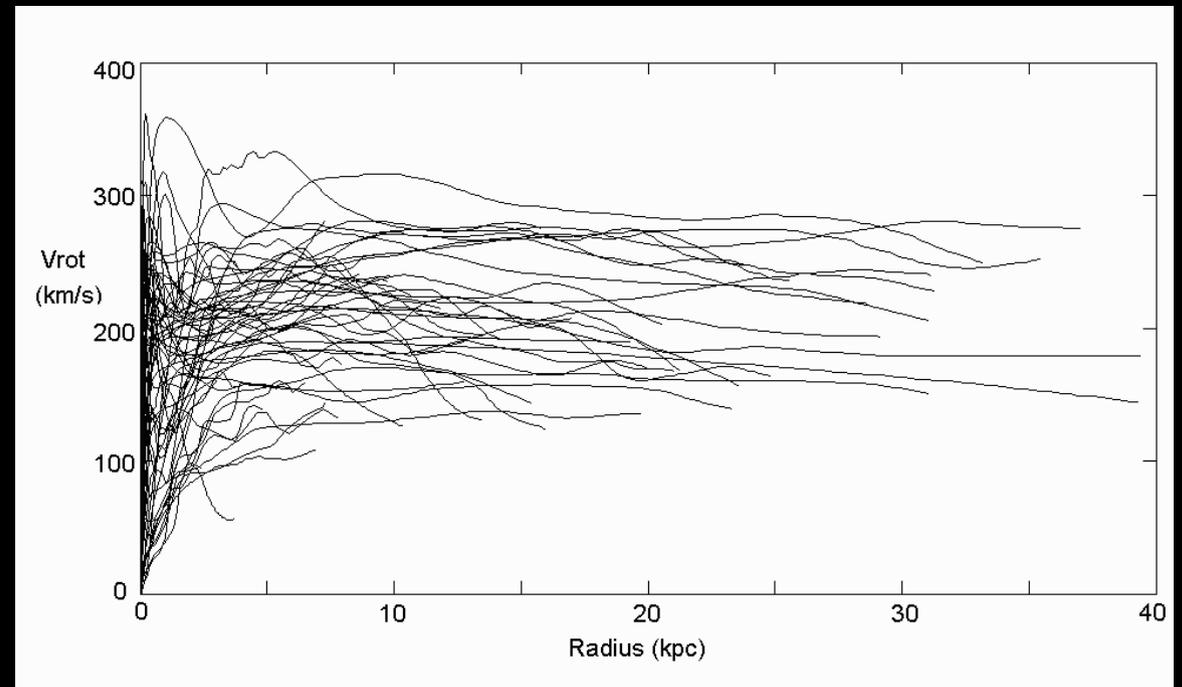
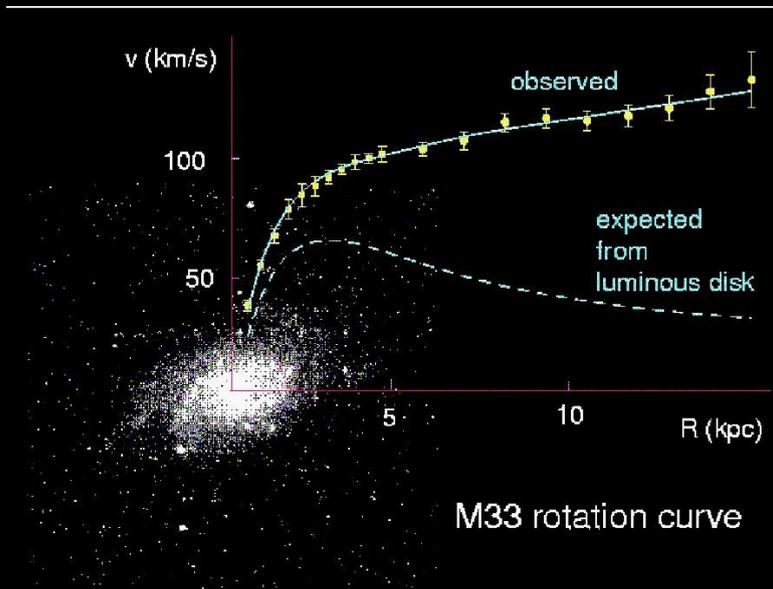


L'univers ultra-profond

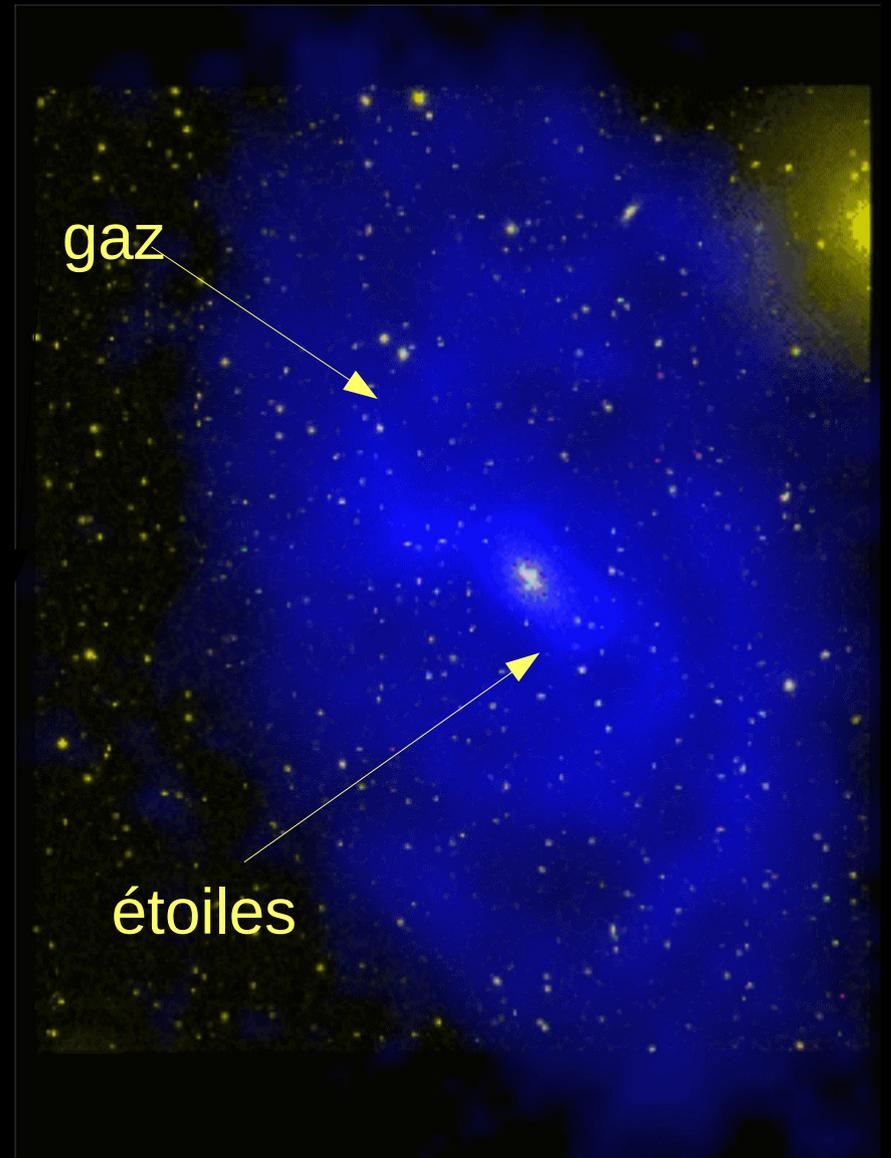


Rotation des galaxies spirales

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 !