

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

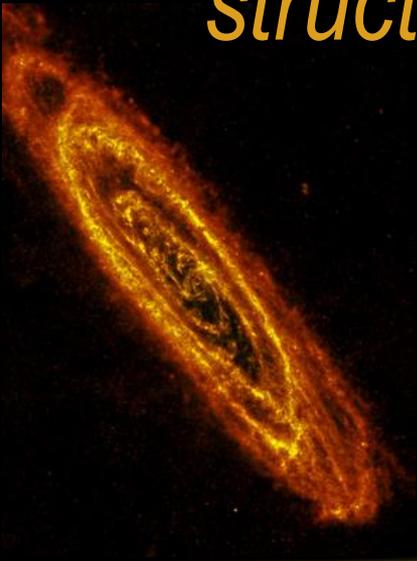
Festival de Fleurance

05/08/2013

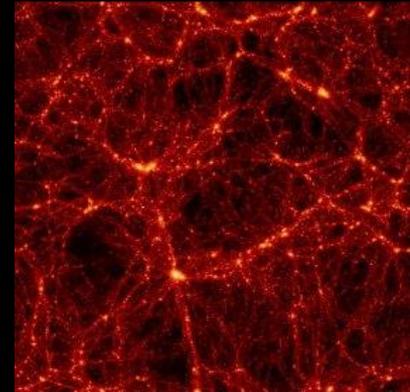
Fleurance



*Comment les galaxies et les grandes structures de l'Univers se forment-elles?*



Matthieu Béthermin  
Postdoc au CEA Saclay



## AU PROGRAMME CET APRÈS-MIDI...

- Echelles des grandes structures de l'Univers
  - Qu'est ce qu'une galaxie? Comment ça marche?
  - Evolution des galaxies
  - Evolution des grandes structures de l'Univers
  - Liens entre galaxies et grandes structures de matière noire
-

# ÉCHELLES DES GRANDS STRUCTURES DE L'UNIVERS

---

Et si on se donnait un peu le vertige

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS

Dunkerque-Fleurance: 1 008 km = 1 008 000 m



$10^6 = 1\,000\,000$

$10^6$  m

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS

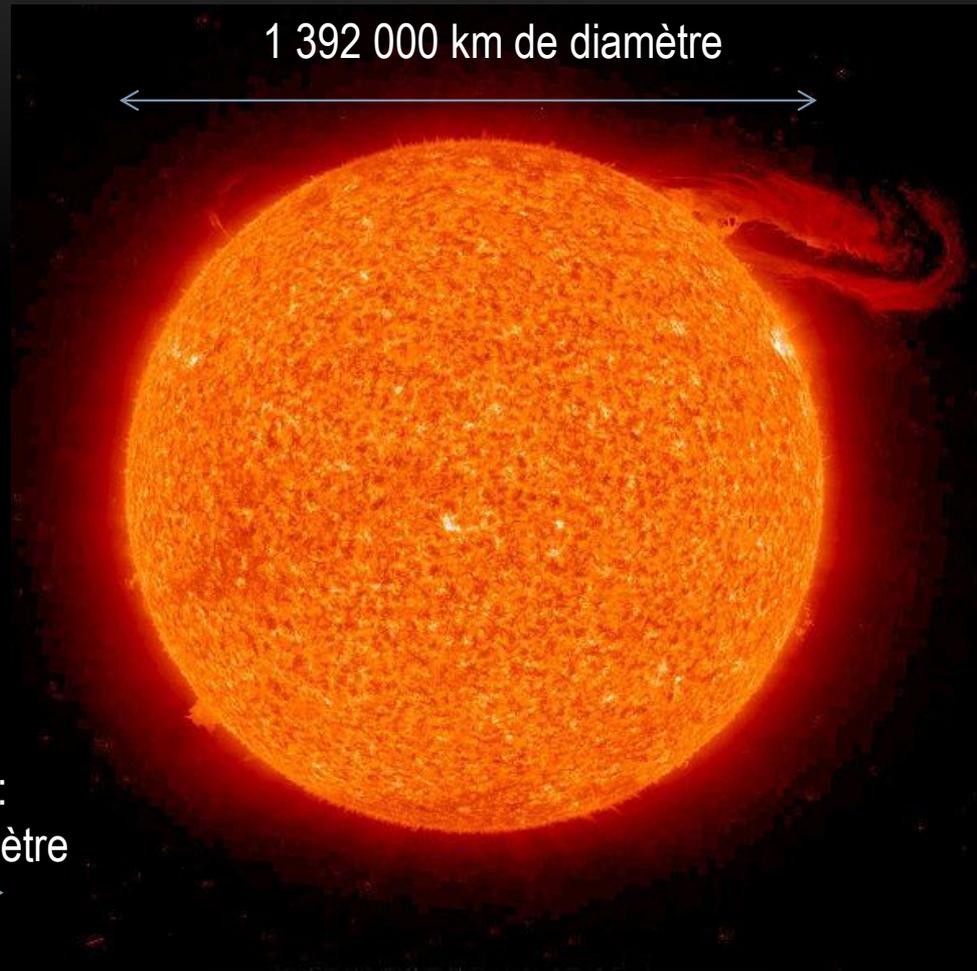


12750 km de diamètre

$10^7 = 10\ 000\ 000$

$10^7$  m

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS



1 392 000 km de diamètre

Distance Terre-Lune:  
380 000 km de diamètre

$10^9 = 1\,000\,000\,000$

$10^9$  m

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS

Eloignons nous encore un peu...

Distance Terre-Soleil: 150 000 000 km

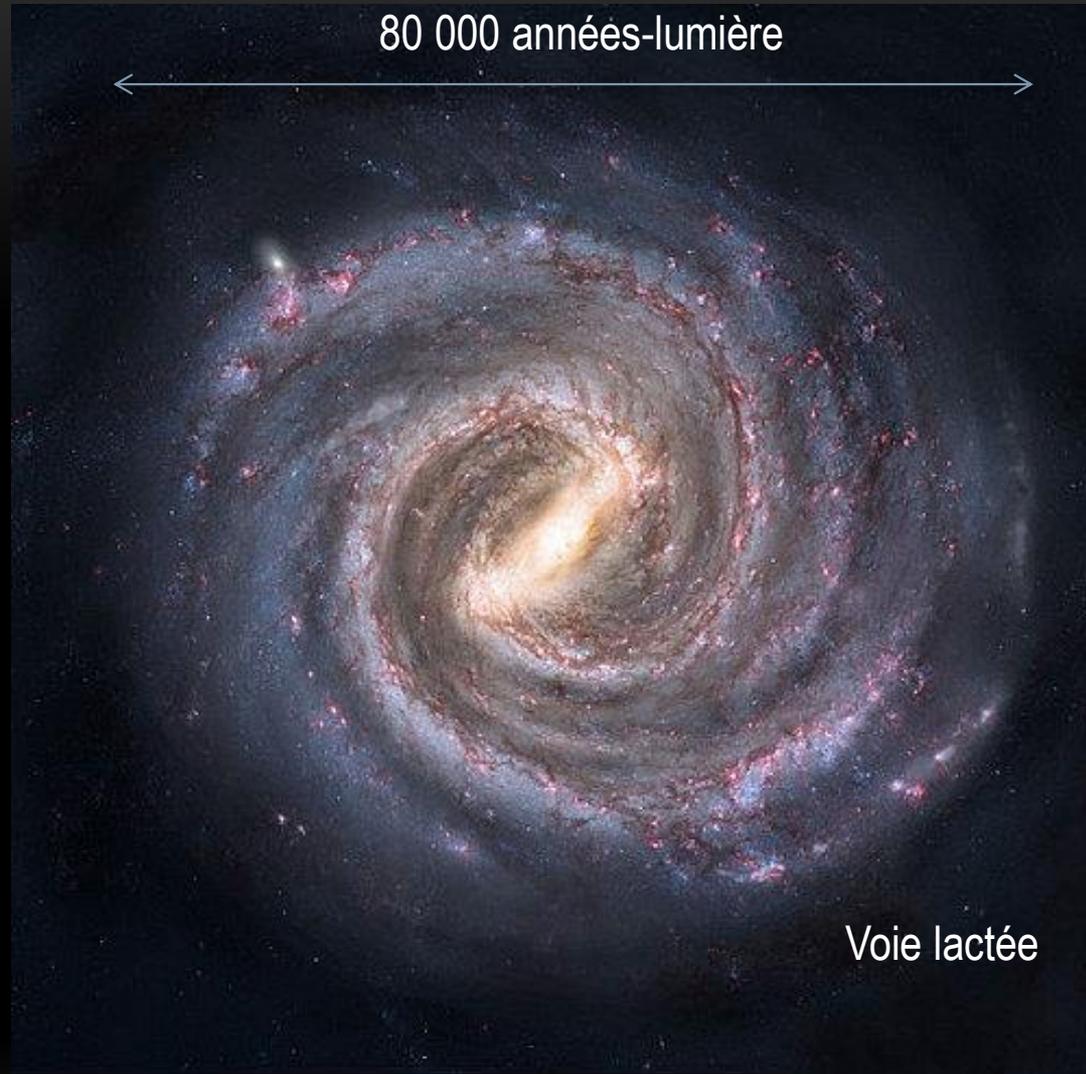
$10^{11}$  m

Distance entre le Soleil et Proxima  
du Centaure (étoile la plus proche):

4,2 années lumières = 40 000 milliards de km

$10^{16}$  m

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS



$10^{21} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

$10^{21}$  m

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS



2.55 millions d'années-lumière

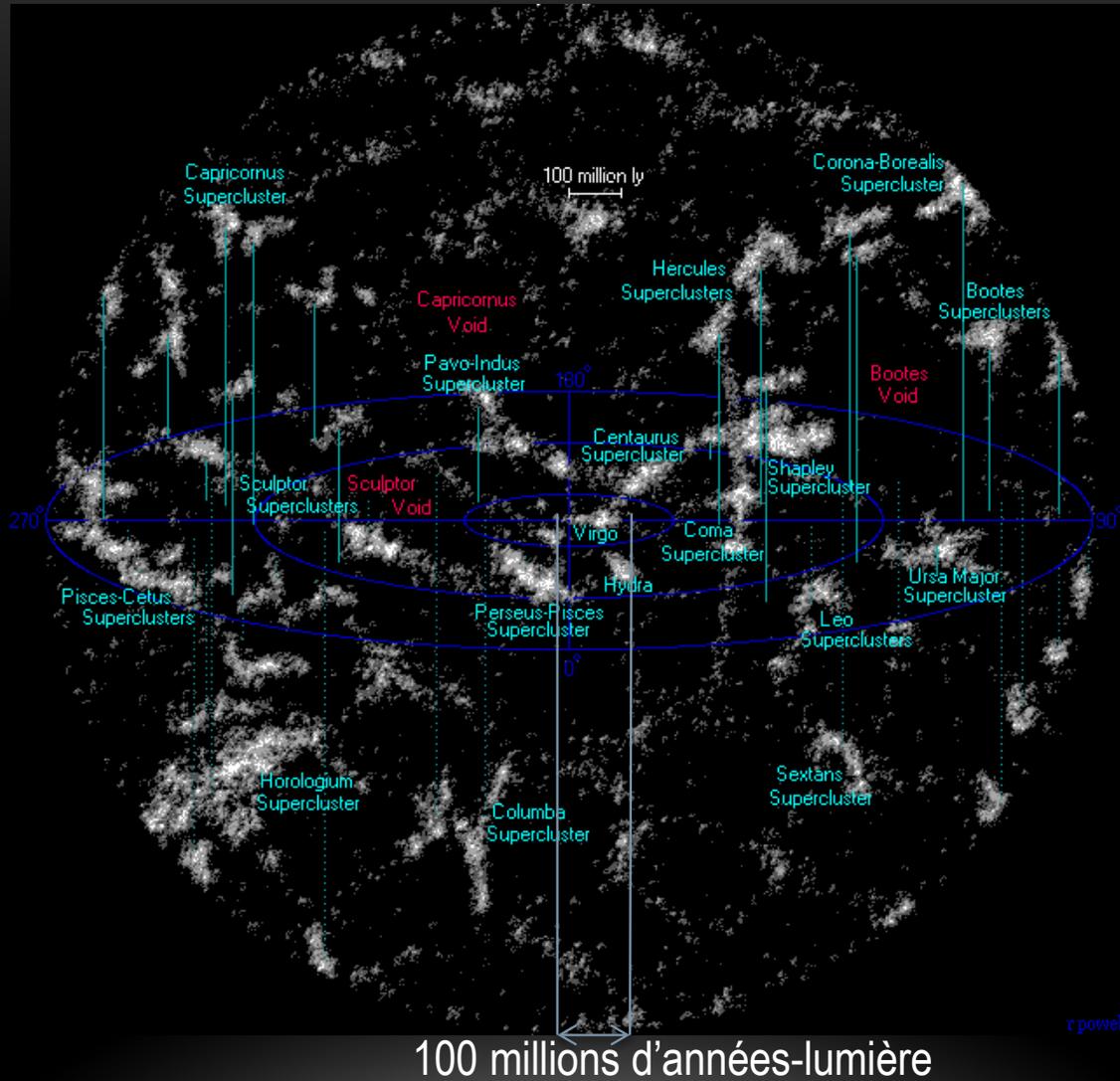
Galaxie d'Andromède  
(plus proche voisine)

Voie lactée (maison)

$10^{22} = 10\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

$10^{22}$  m

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS



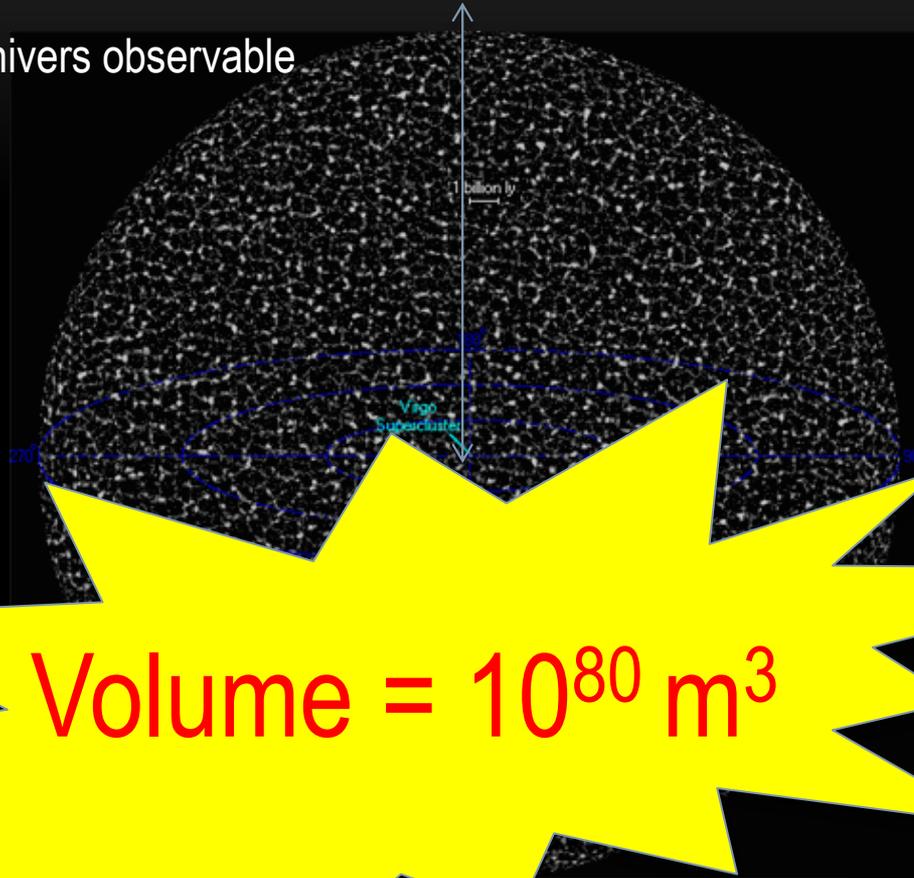
$10^{24} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

$10^{24}$  m

# ÉCHELLES DES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS

40 milliards d'années-lumière

Univers observable



Volume =  $10^{80} \text{ m}^3$

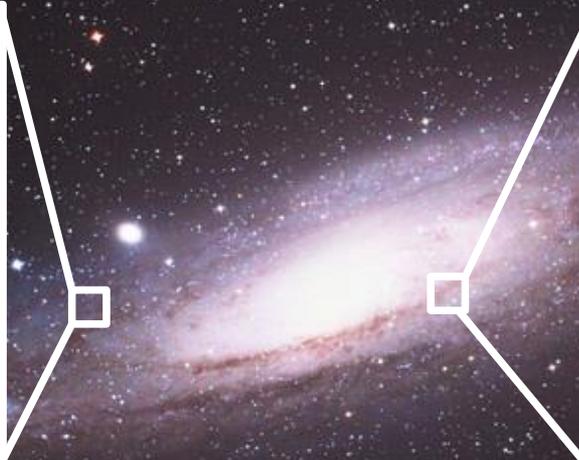
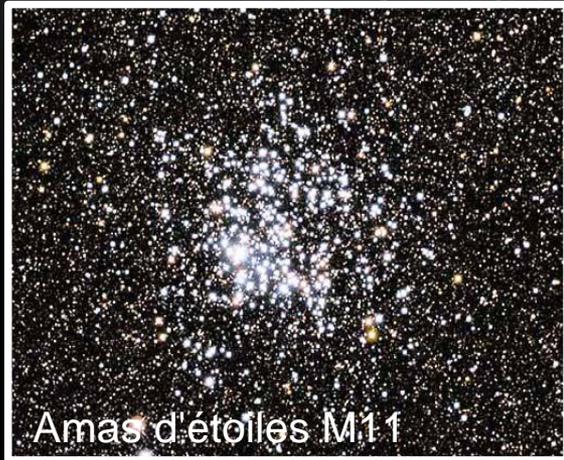
$10^{27} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

$10^{27} \text{ m}$

# QU'EST-CE QU'UNE GALAXIE? COMMENT ÇÀ MARCHE?

La danse des étoiles, du gaz, et de la matière noire

# QU'EST CE QU'UNE GALAXIE?



La galaxie d'Andromède

Une galaxie se compose:

- d'étoiles
- de gaz et de poussière
- de matière noire

# DIFFÉRENTS TYPES DE GALAXIES

Coelum  
Astronomia

The Giant Elliptical Galaxy Messier 87 by



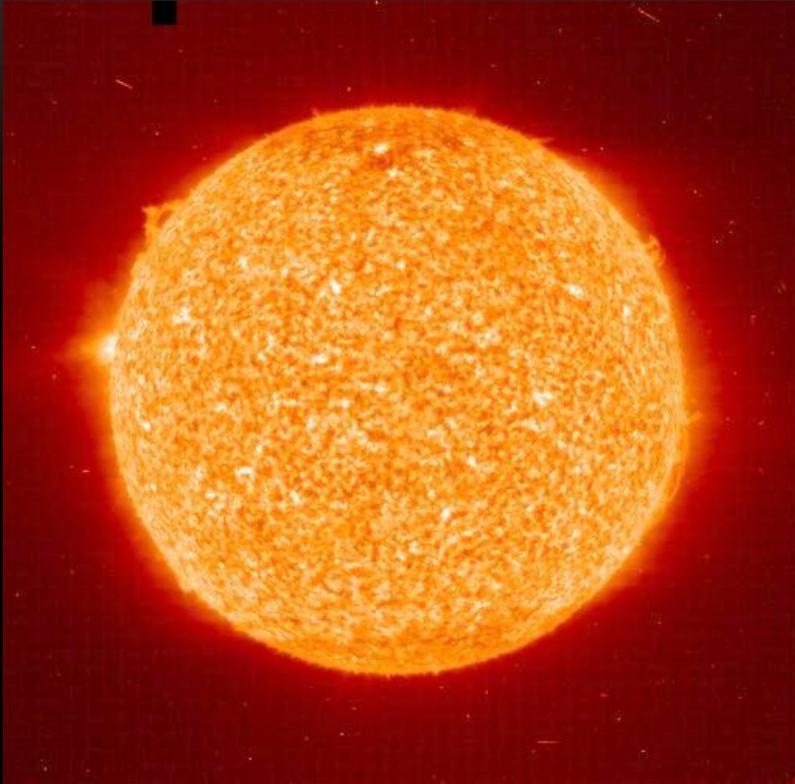
Une galaxie elliptique (M87)

Une galaxie spirale (M51)

Une galaxie irrégulière (M82)



# LA COULEUR DES ÉTOILES



Le Soleil

Masse =  $2 \times 10^{30}$  kg

Luminosité =  $3,8 \times 10^{26}$  W

Température de surface =  $5400^{\circ}$



Véga

Masse = 2.1 masses solaires

Luminosité = 37 luminosités solaires

Température de surface =  $9300^{\circ}$

# DIFFÉRENTS TYPES DE GALAXIES

Coelum  
Astronomia

The Giant Elliptical Galaxy Messier 87 by



Une galaxie elliptique (M87)



Une galaxie spirale (M51)

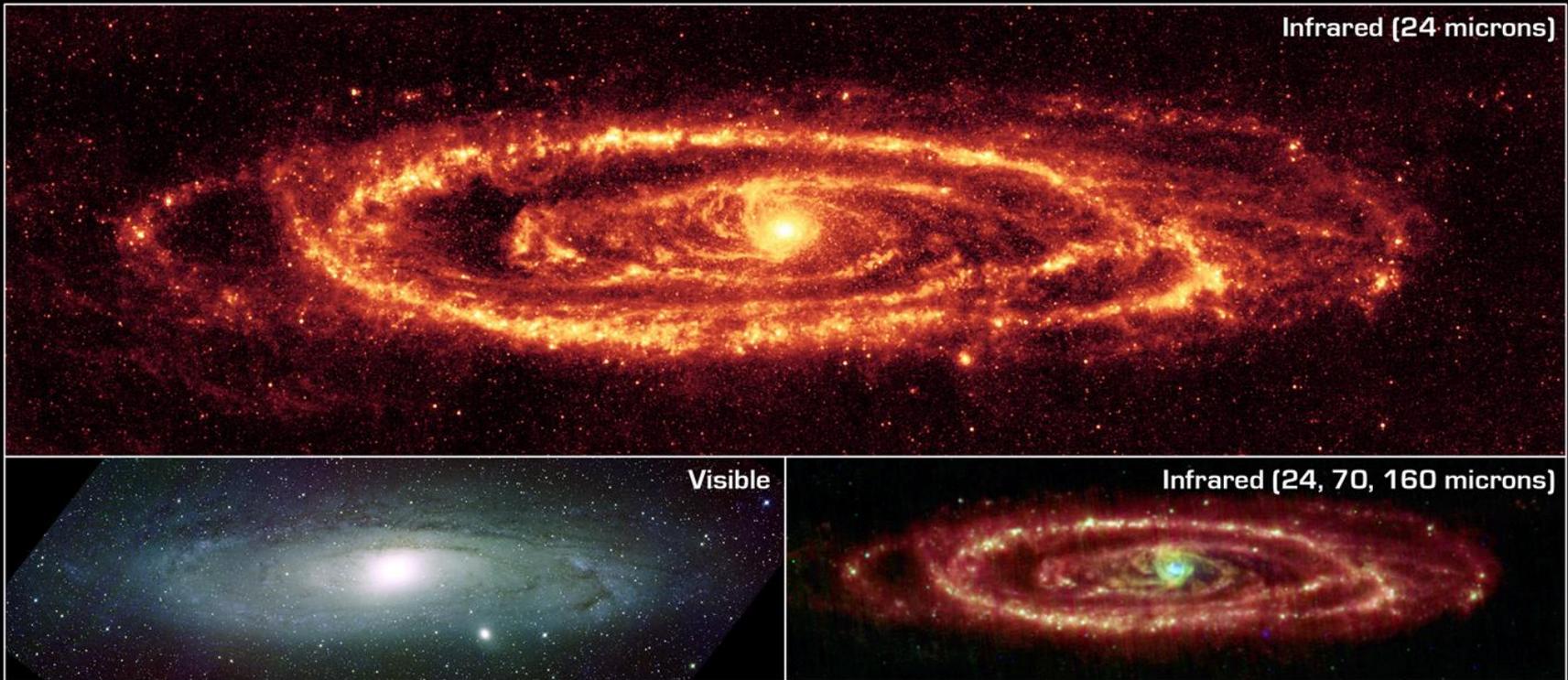


# GAZ, POUSSIÈRE ET FORMATION D'ÉTOILES

Poussière froide observée par le satellite européen Herschel



# L'INFRAROUGE MOYEN ET LOINTAIN: UN TRACEUR DE LA FORMATION D'ÉTOILE



## Dust in Andromeda Galaxy (M31)

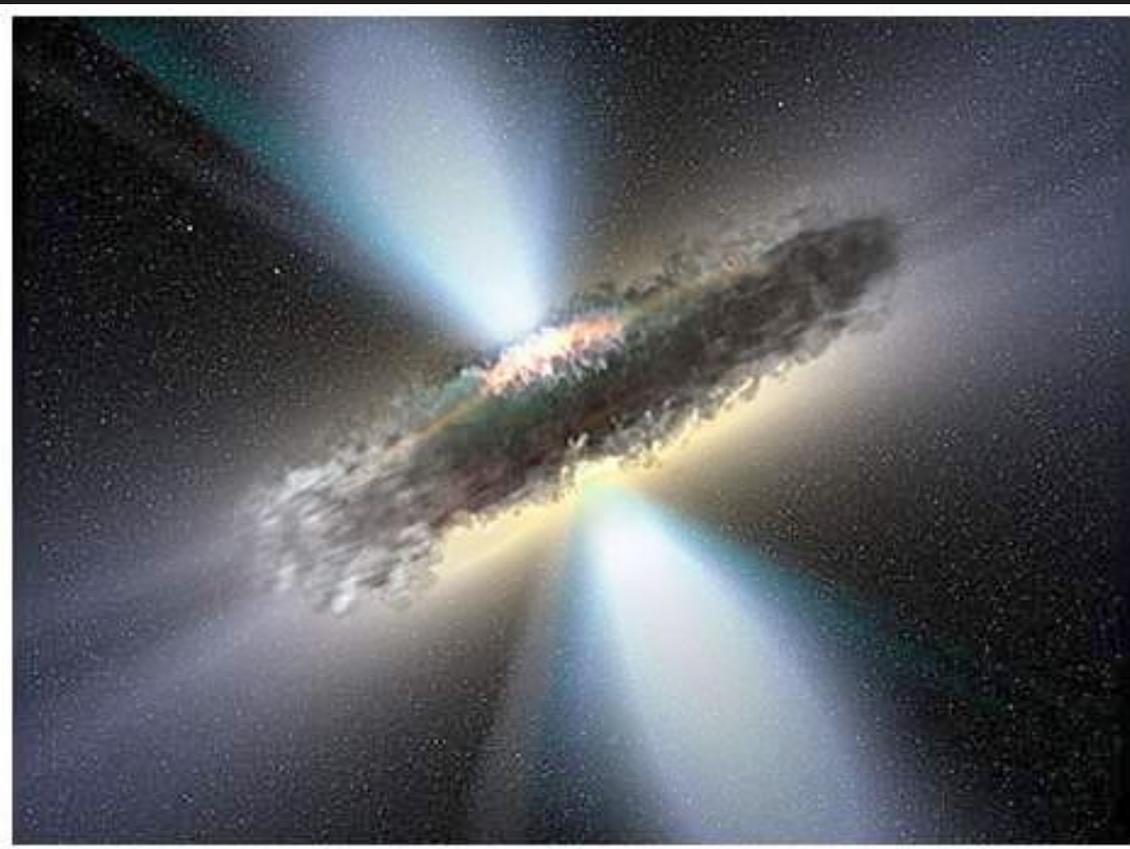
NASA / JPL-Caltech / K. Gordon (University of Arizona)

## Spitzer Space Telescope • MIPS

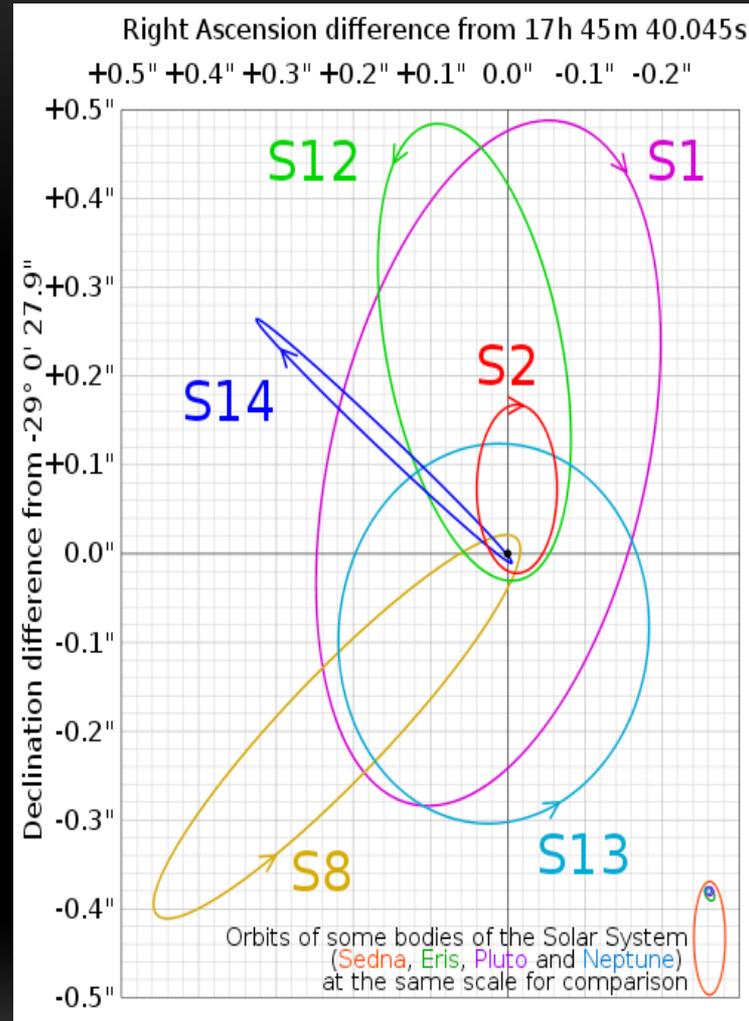
Visible: NOAO

ssc2005-20a

# LES TROUS NOIRS HYPERMASSIFS AUX COEUR DES GALAXIES



Vue d'artiste d'un noyau actif de galaxie  
(crédits: ESA/NASA/AVO/Paolo Padovani)



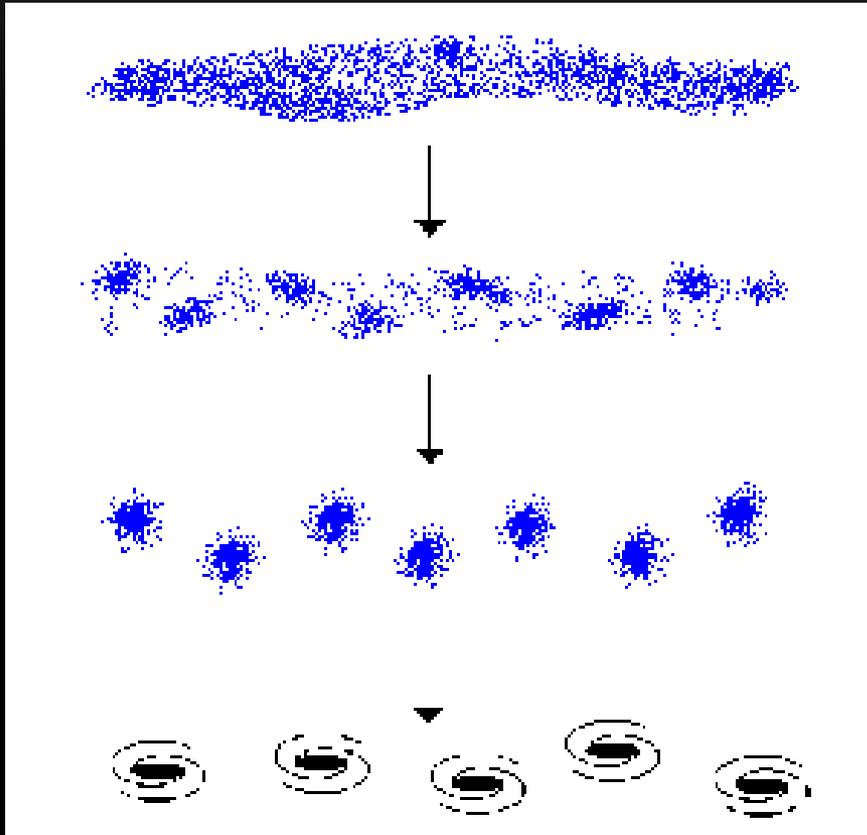
# EVOLUTION DES GALAXIES

---

Grosse collision versus gavage de gaz

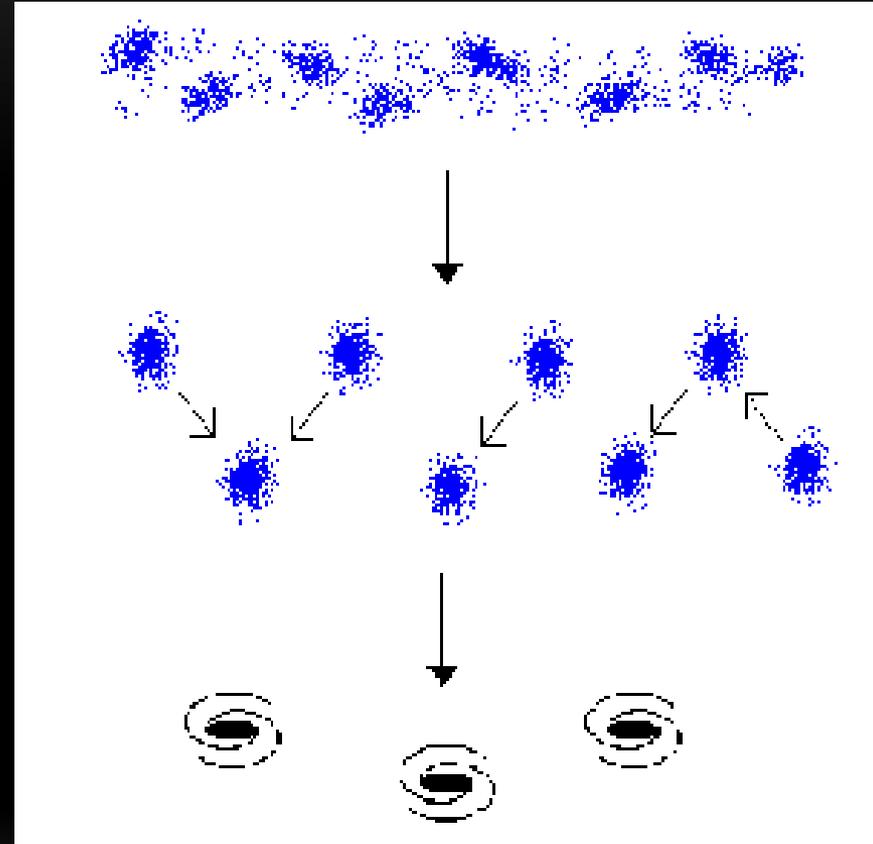
# COMMENT SE FORMENT LES GALAXIES?

1962: Eggen, Linden-Bell et Sandage

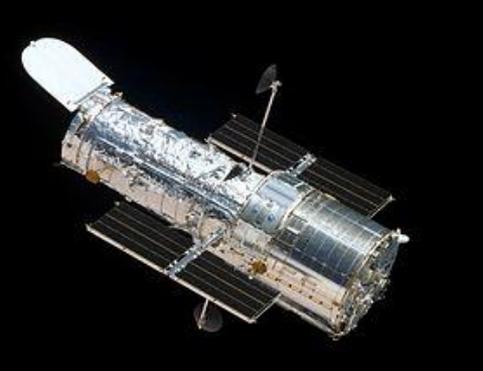
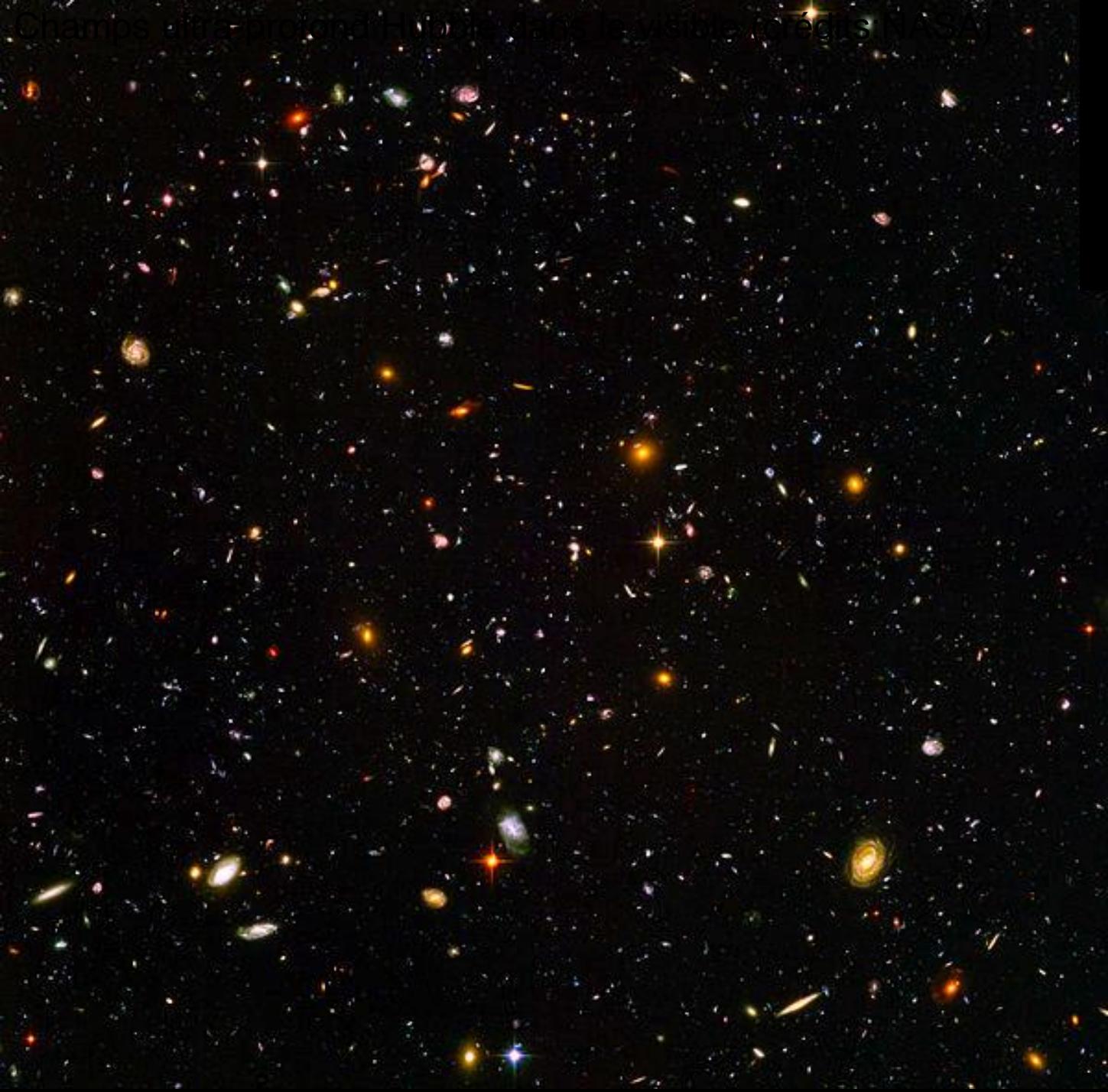


Effondrement monolithique

1978: e.g. Searle & Zinn



Modèle hierarchique

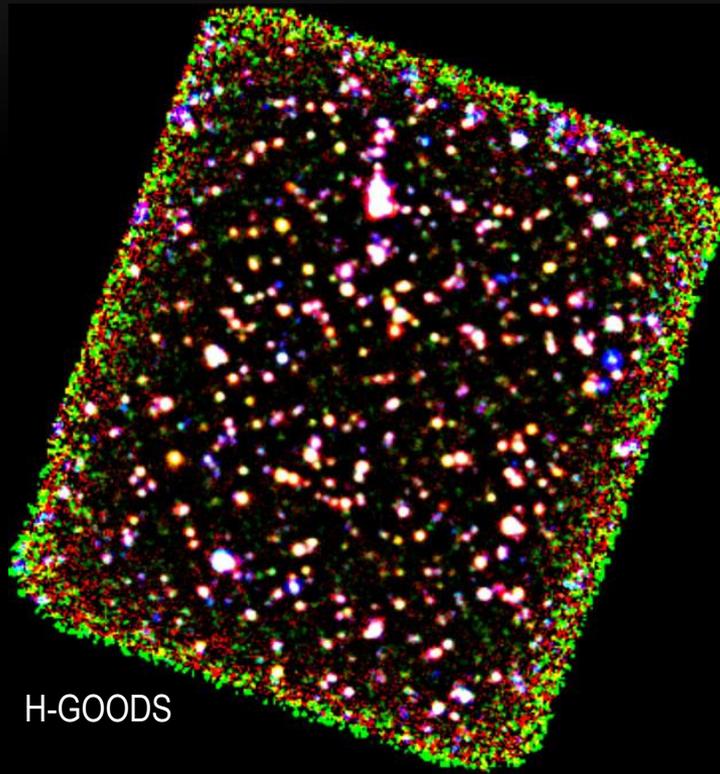


Le télescope *Hubble*  
de la NASA et le  
champ profond HDFN

---

**LES  
RELEVÉS  
PROFONDS  
HUBBLE**

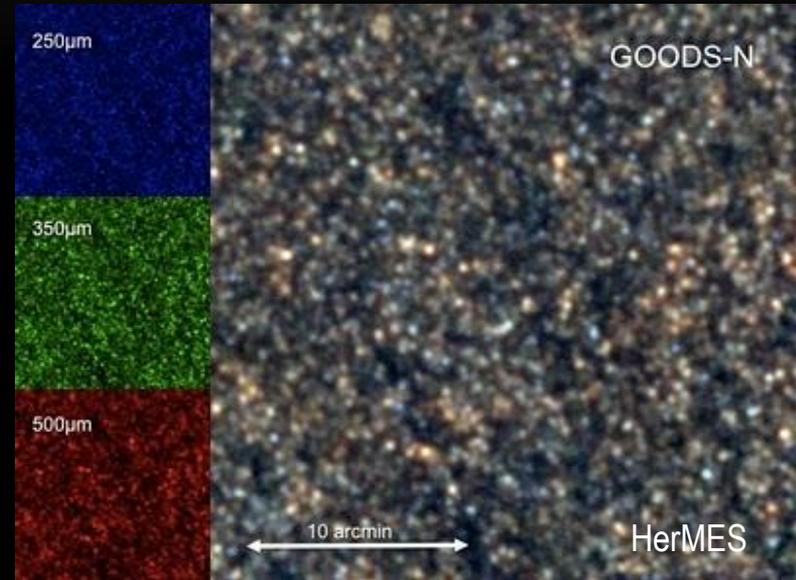
# SONDER LE CIEL PROFOND DANS L'INFRAROUGE LOINTAIN



H-GOODS



Le télescope spatial *Herschel* de l'ESA



GOODS-N

HerMES

10 arcmin

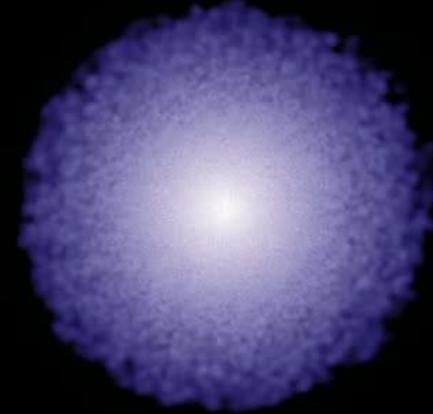
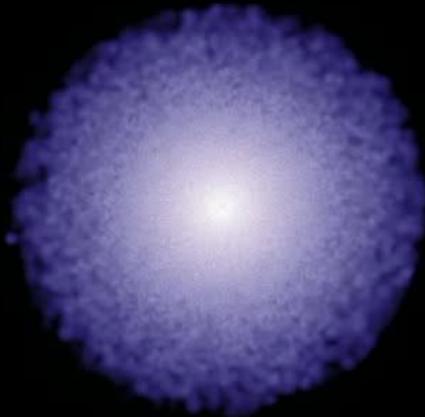
# LES FLAMBÉES DE FORMATION D'ÉTOILES



Merging Galaxies NGC 2207 & IC 2163 Spitzer Space Telescope • IRAC  
NASA / JPL-Caltech / D. Elmegreen (Vassar) ssc2006-11a

# SIMULATION D'UNE FUSION DE GALAXIES

T = 0 Myr



Di Matteo et al.

10 kpc/h  
|-----|

# IMPORTANCE DES COURANTS FROIDS

Vue d'artiste des courants de gaz froid alimentant une galaxie



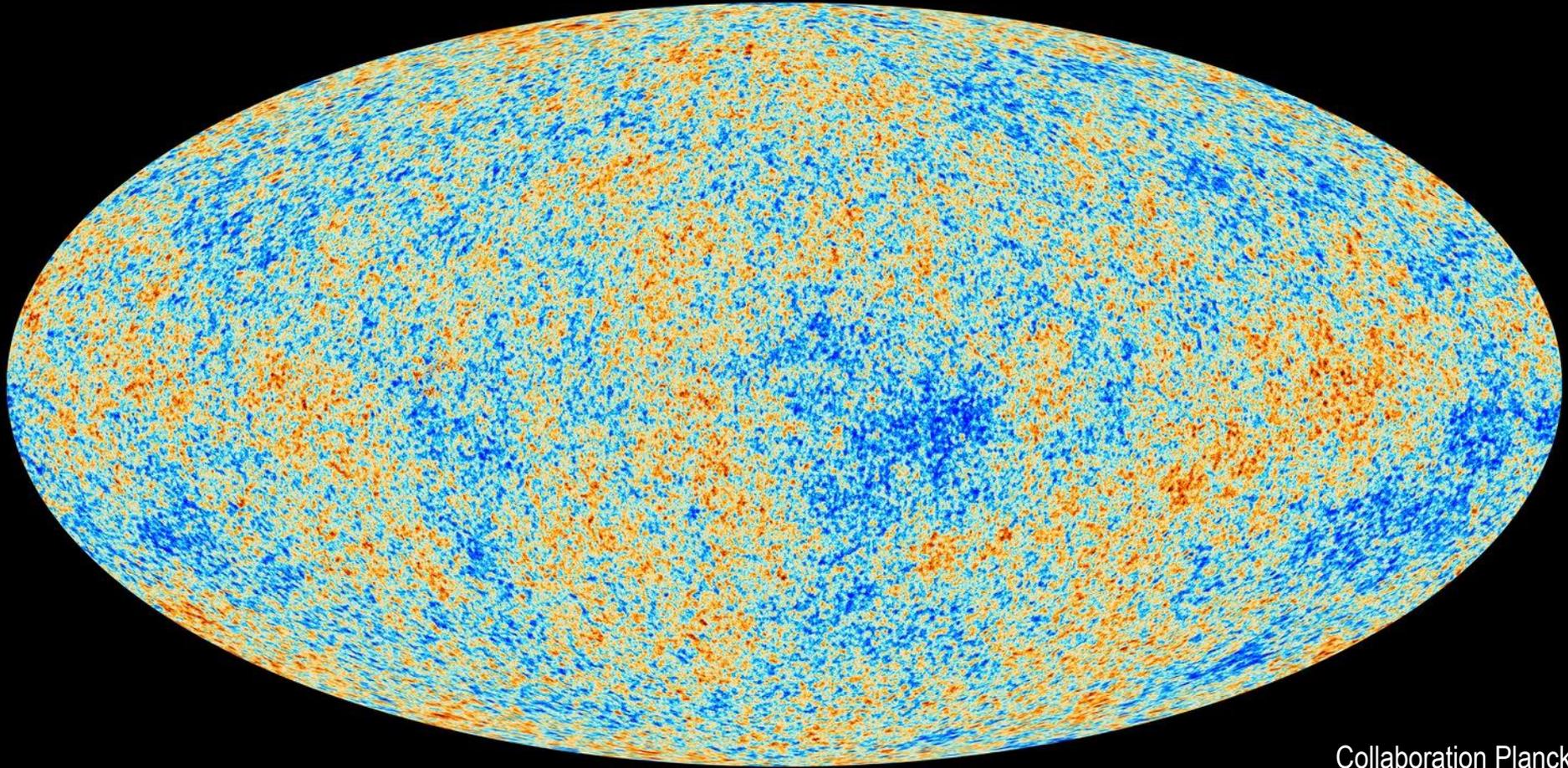
ESA

# EVOLUTION DES GRANDS STRUCTURES DE L'UNIVERS

---

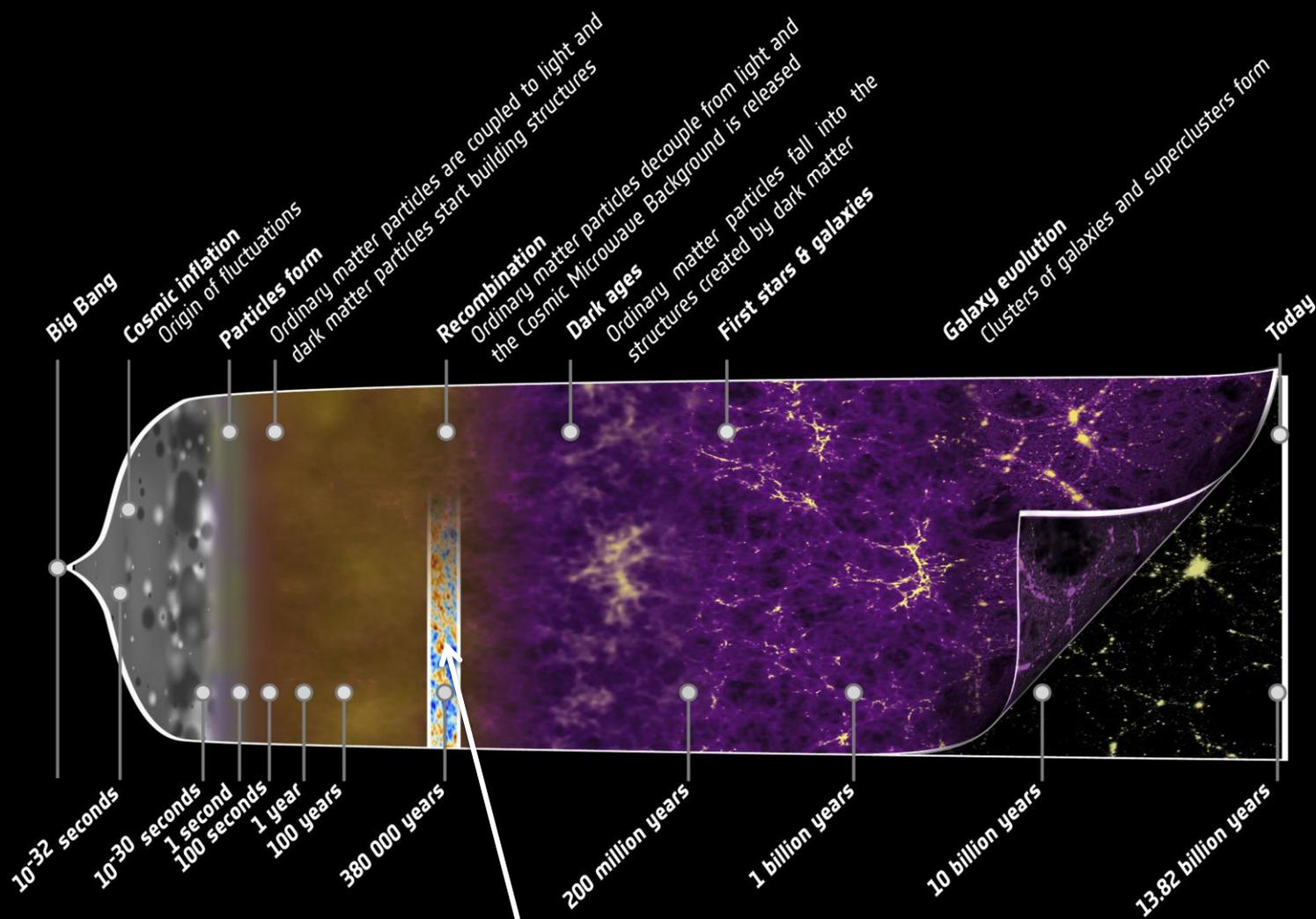
Ou comment faire des toiles d'araignée géantes sans araignée

# LE FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE: «PHOTO DE L'UNIVERS 380 000 ANS APRÈS LE BIG BANG »



Collaboration Planck

# LE FOND COSMOLOGIQUE: UNE «PHOTO» DE L'UNIVERS 380 000 APRES L'INFLATION

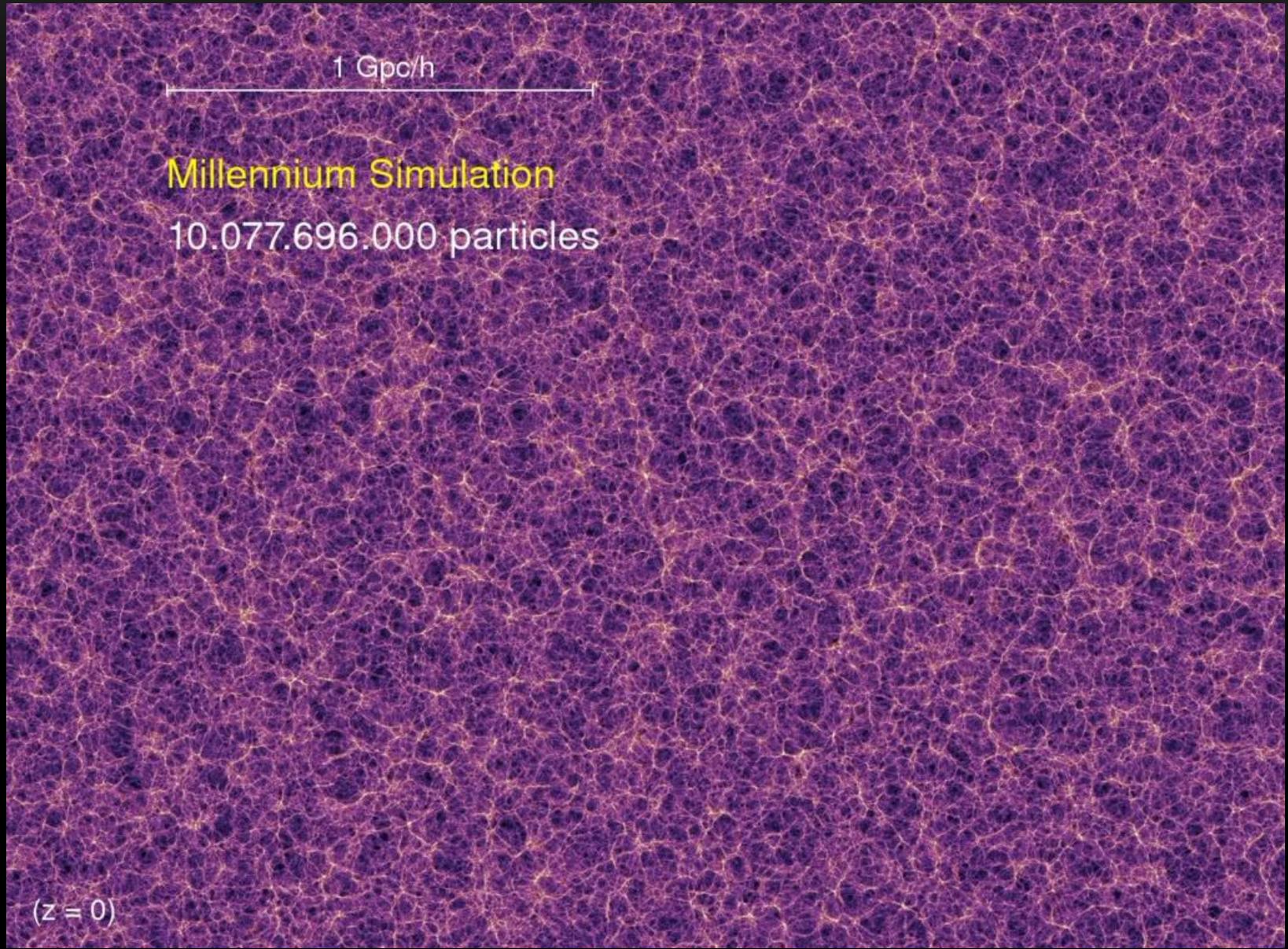


Emission du fond cosmologique lors de la recombinaison

# FORMATION DES GRANDES STRUCTURES DE MATIÈRE NOIRE



# STRUCTURATION DE LA MATIÈRE NOIRE AUJOURD'HUI



# HALOS ET SOUS HALOS DE MATIÈRE NOIRE

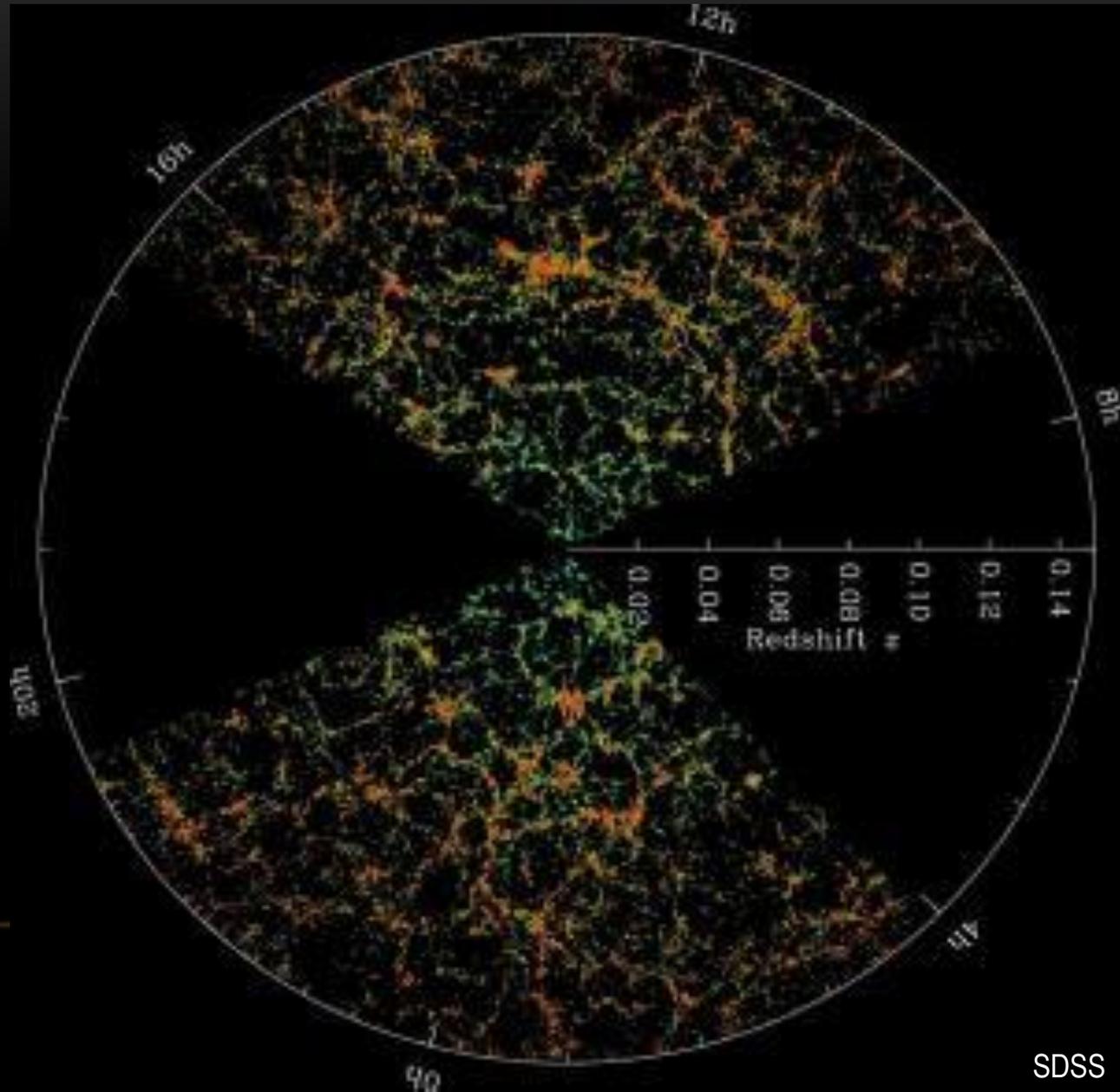


# LIENS ENTRE GALAXIES ET GRANDS STRUCTURES DE MATIÈRE NOIRE

---

Quand l'invisible structure le visible

# RÉPARTITION DES GALAXIES DANS L'UNIVERS LOCAL



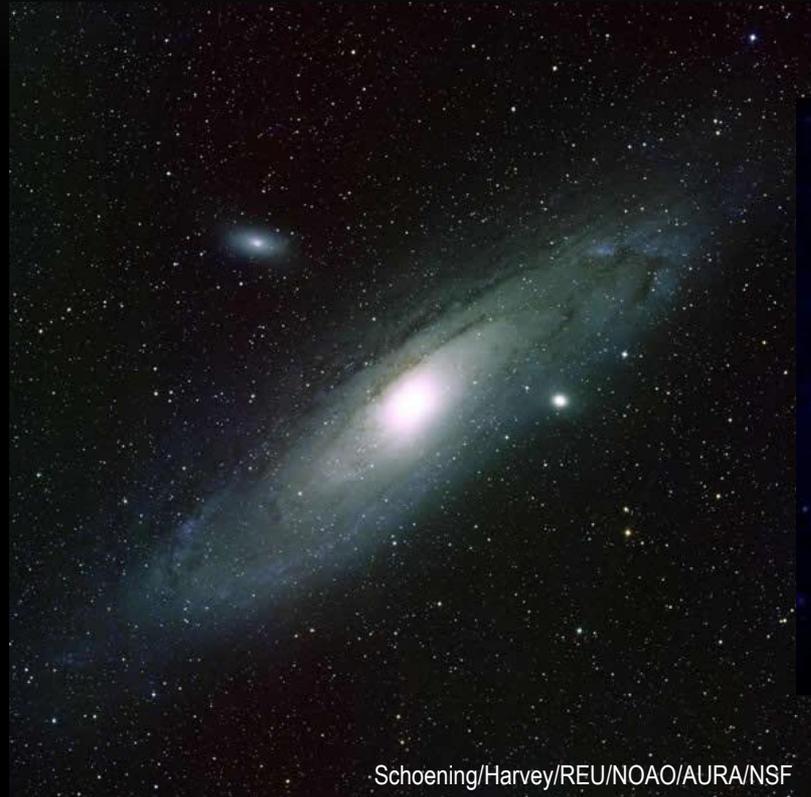
# LES GALAXIES AU CŒUR DES HALOS



J. Kormendy

# LE «PROBLÈME» DES SATELLITES MANQUANTS

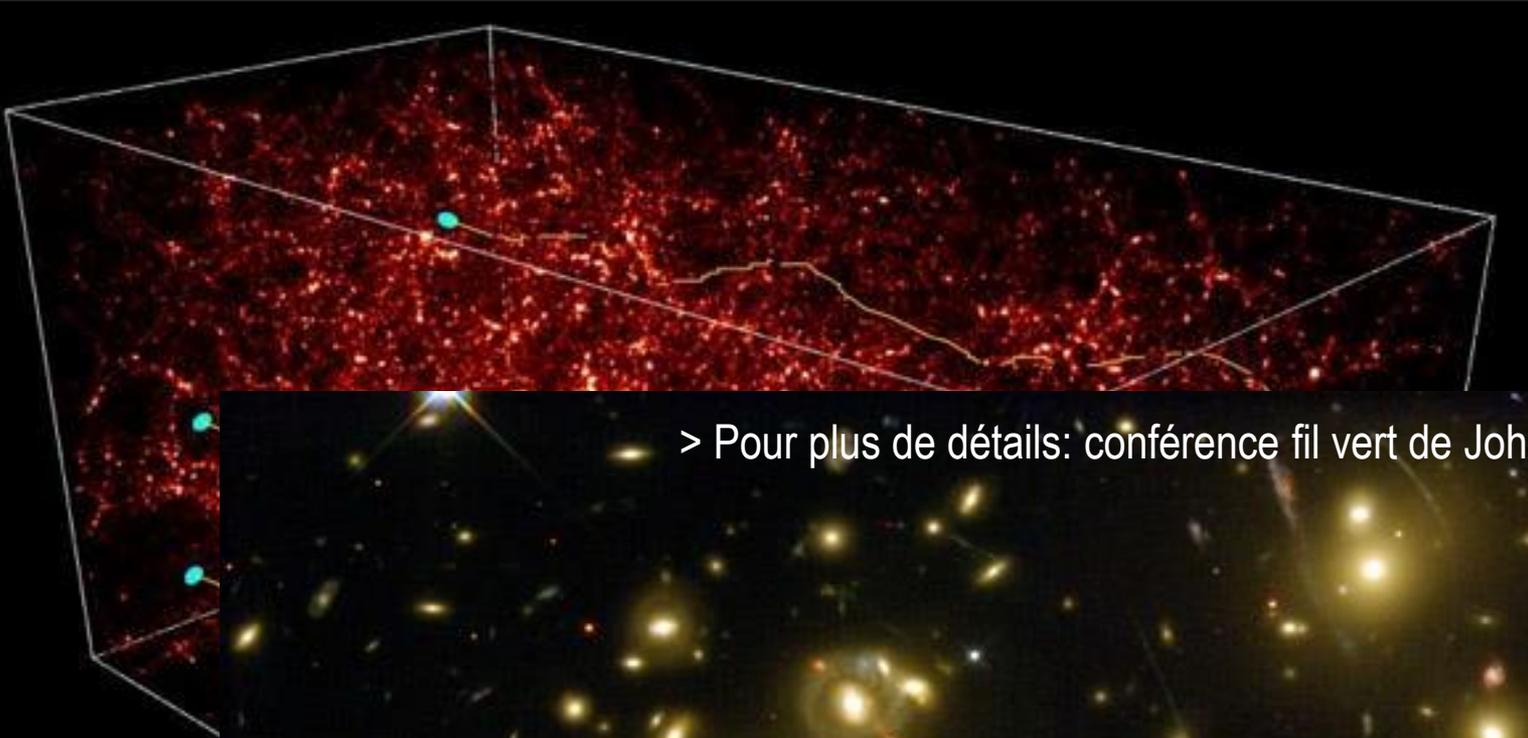
La galaxie d'Andromède (M31)



Simulation d'un halo hôte d'une galaxie spirale



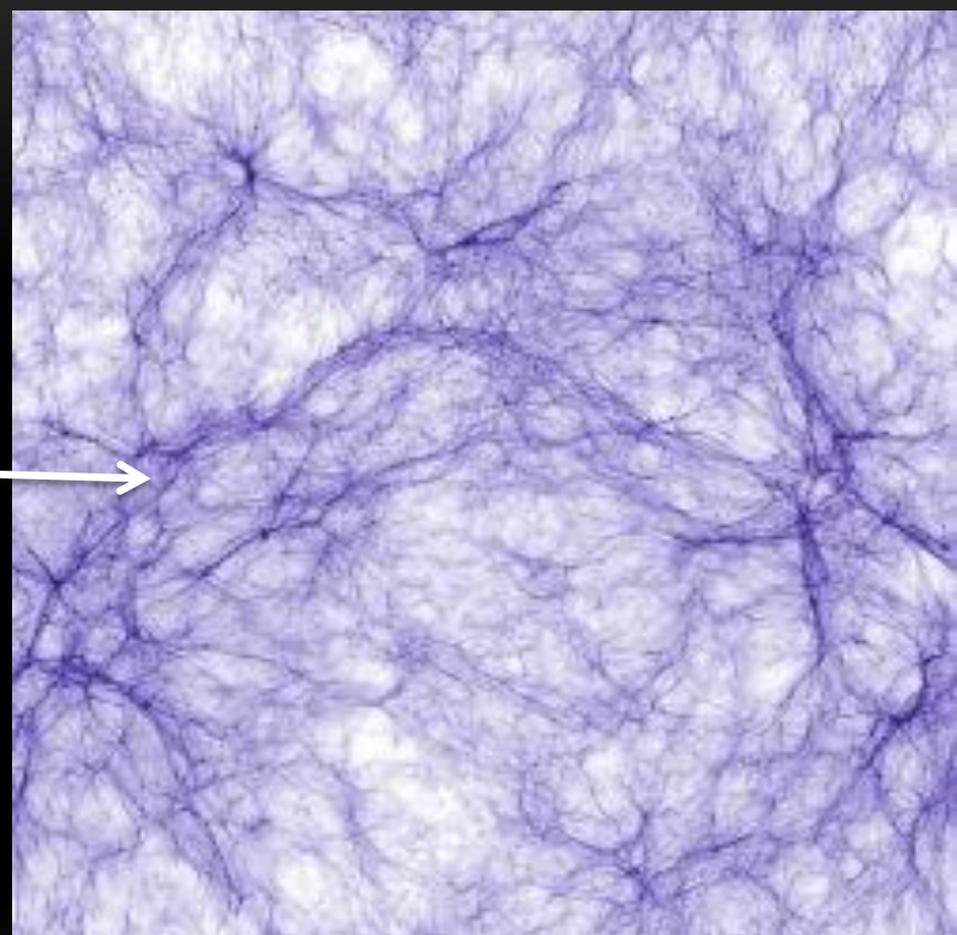
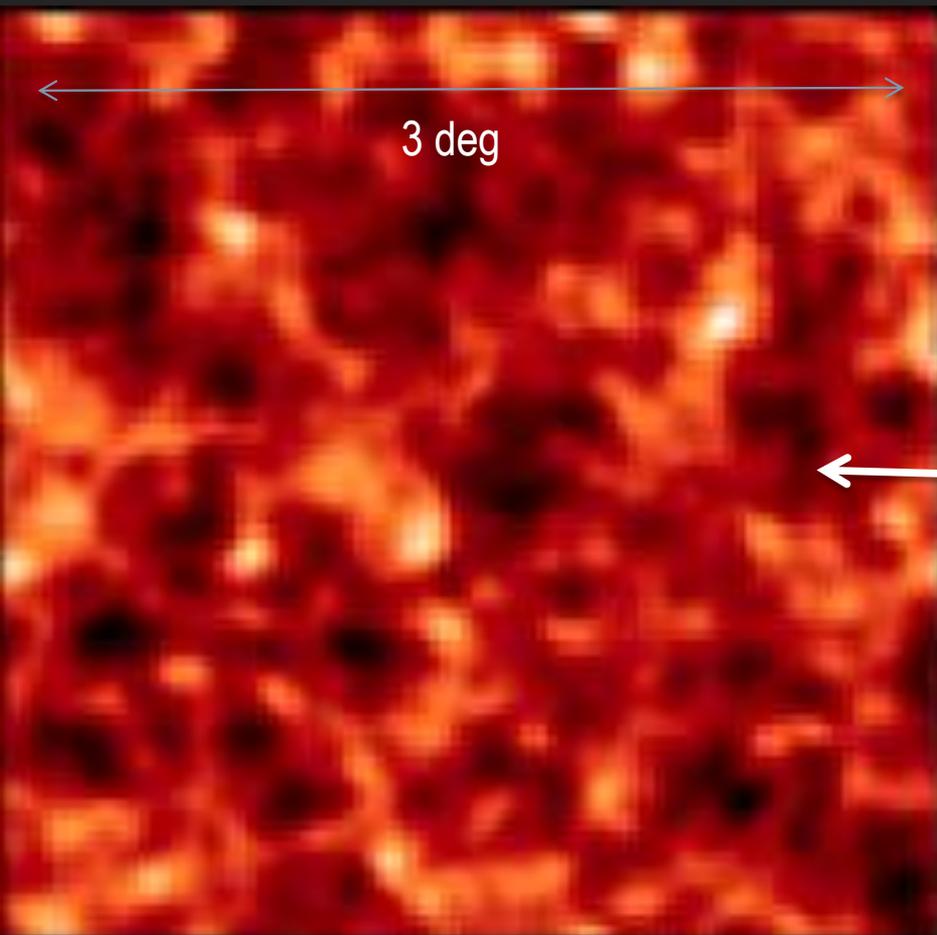
# SONDER LA MATIÈRE NOIRE AVEC LES EFFETS DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE



> Pour plus de détails: conférence fil vert de Johan Richard de jeudi



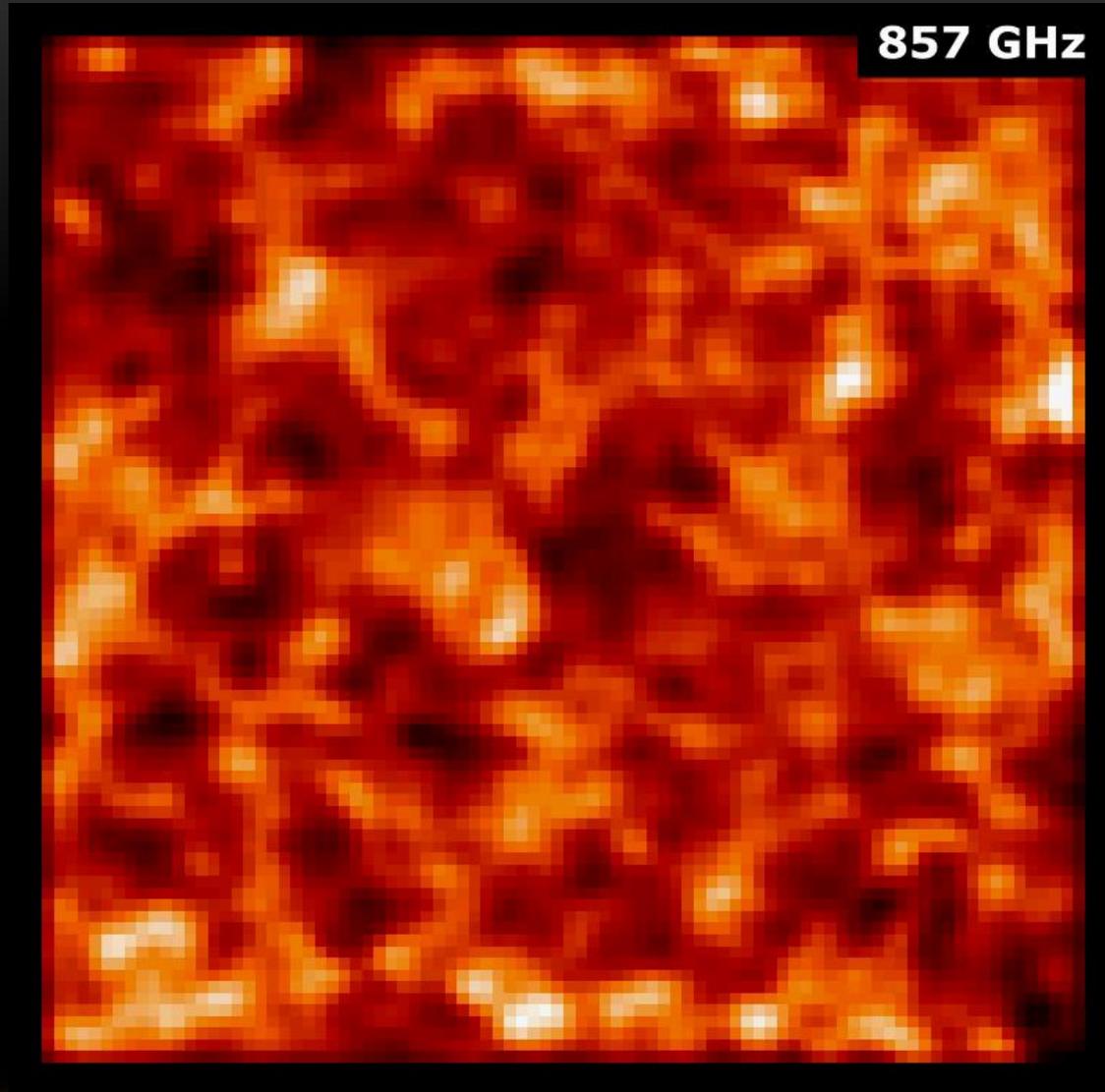
# TRACER LA RÉPARTITION DE LA FORMATION D'ÉTOILES DANS LES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS



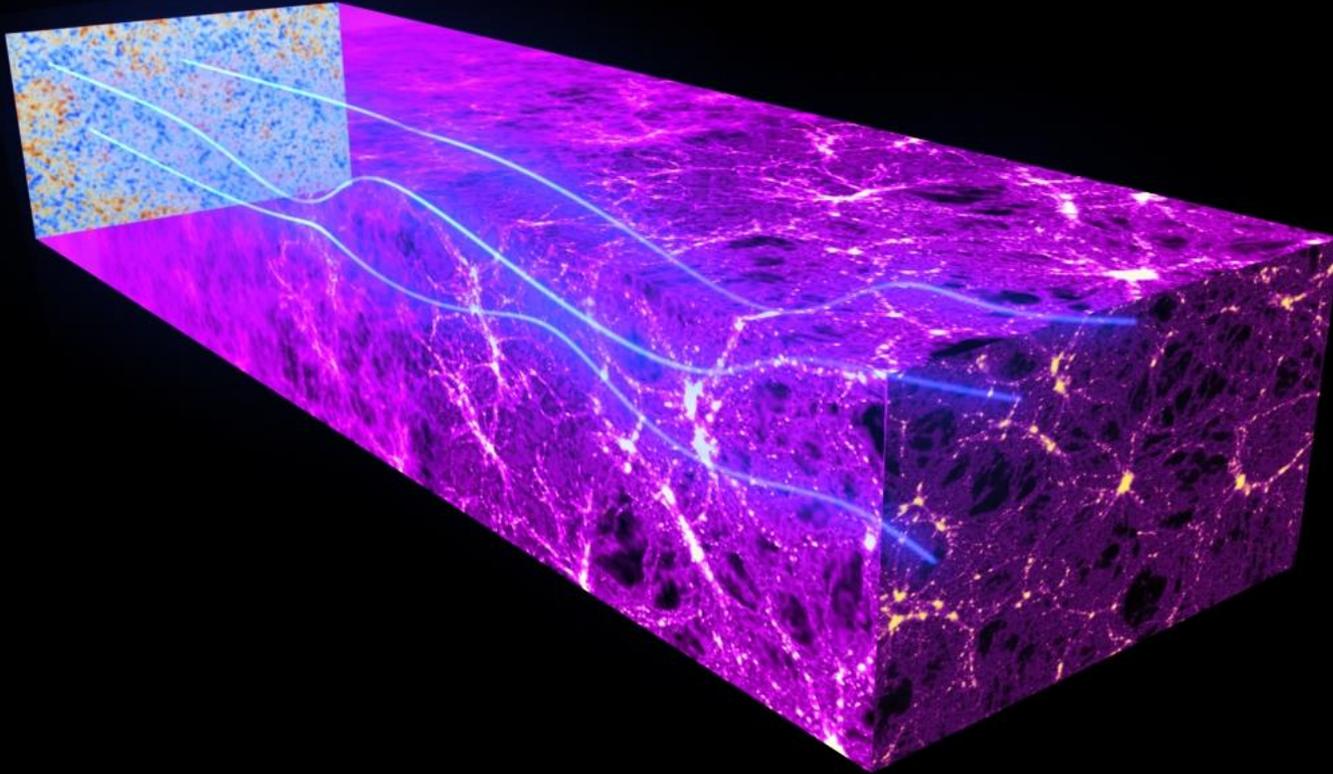
Fluctuations du fond infrarouge observées par le satellite *Planck* (Collaboration Planck)

Simulation des grande structures de L'Univers (Pichon, Teyssier)

# LES FLUCTUATIONS DU FOND INFRAROUGE

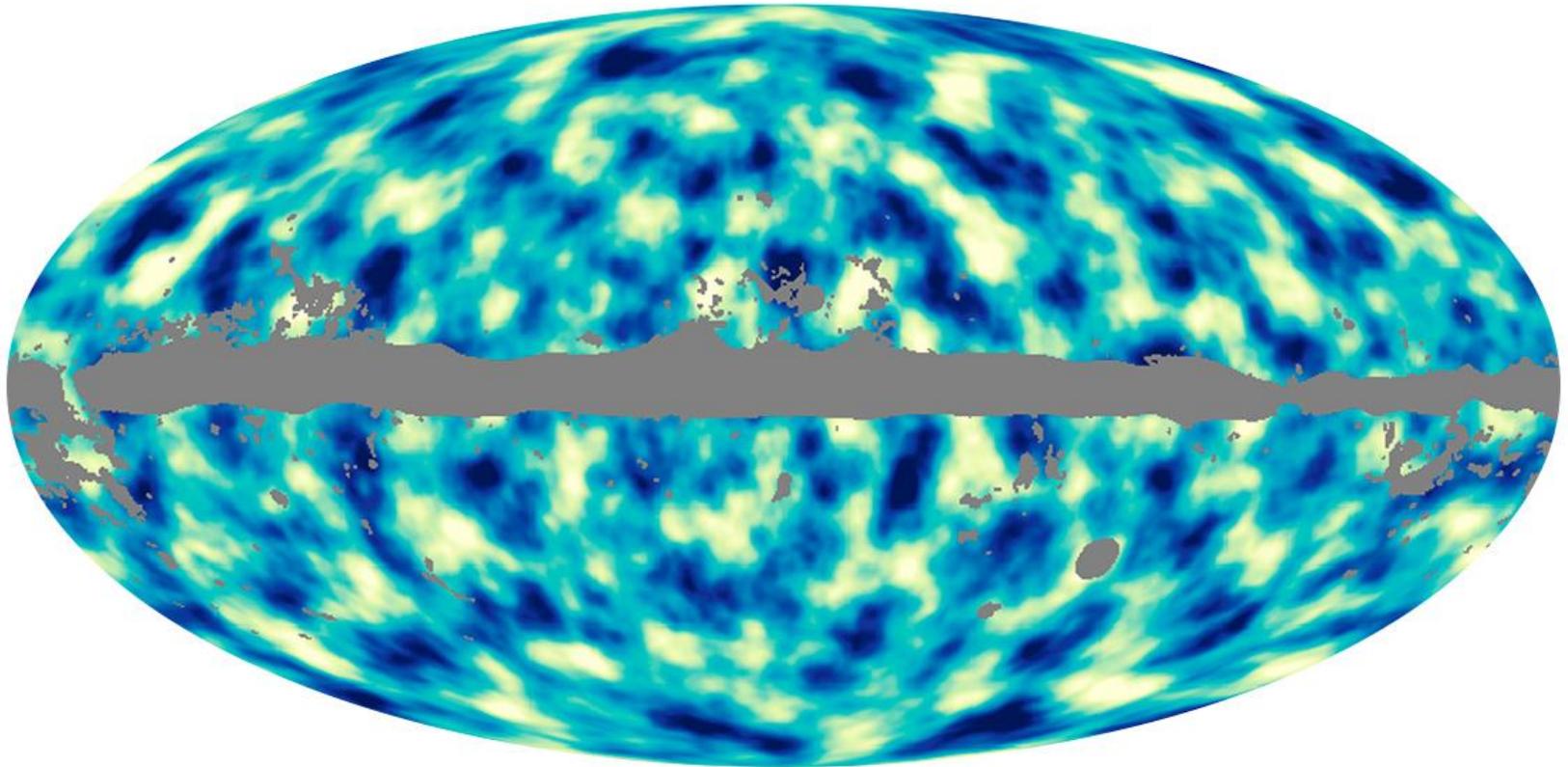


# EFFET DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE SUR LE FOND COSMOLOGIQUE



Collaboration Planck

# UNE CARTE DE LA DISTRIBUTION DE MATIÈRE DANS L'UNIVERS OBSERVABLE

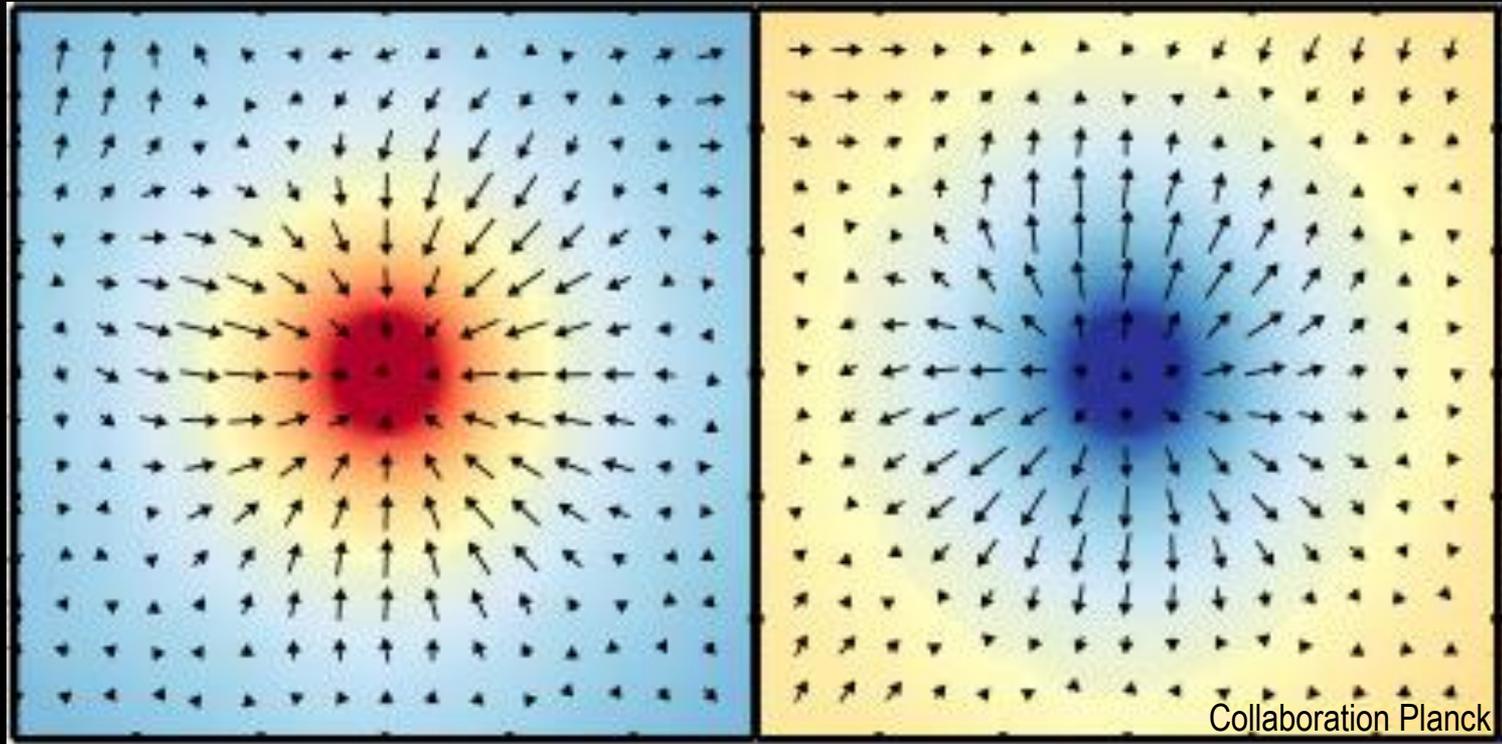


Collaboration Planck

# FOND INFRAROUGE ET EFFET DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE SUR LE FOND COSMOLOGIQUE

Sur densité

Sous densité

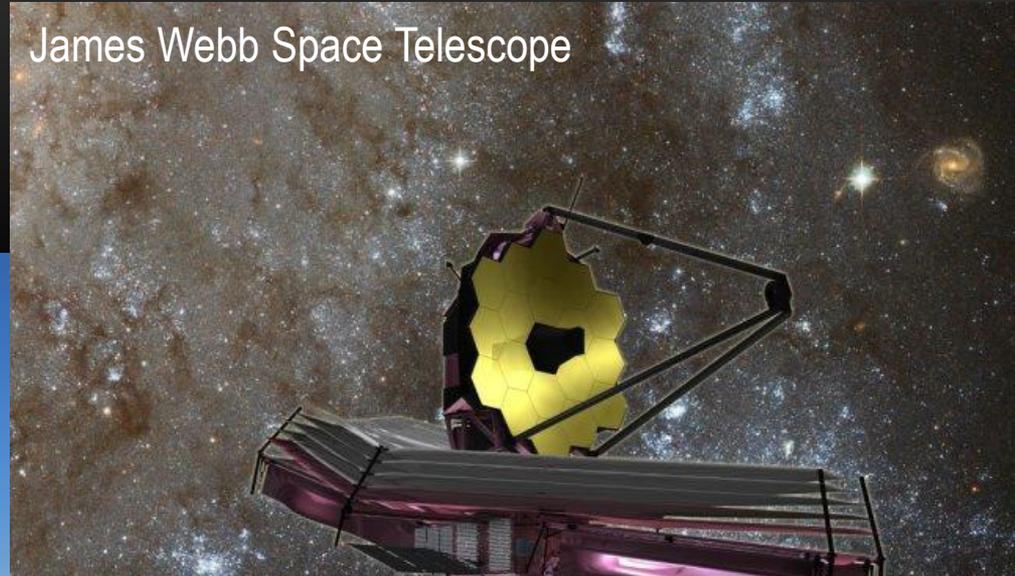


# FORMATION DES GRANDES STRUCTURES DE MATIÈRE NOIRE



# ET MAINTENANT?

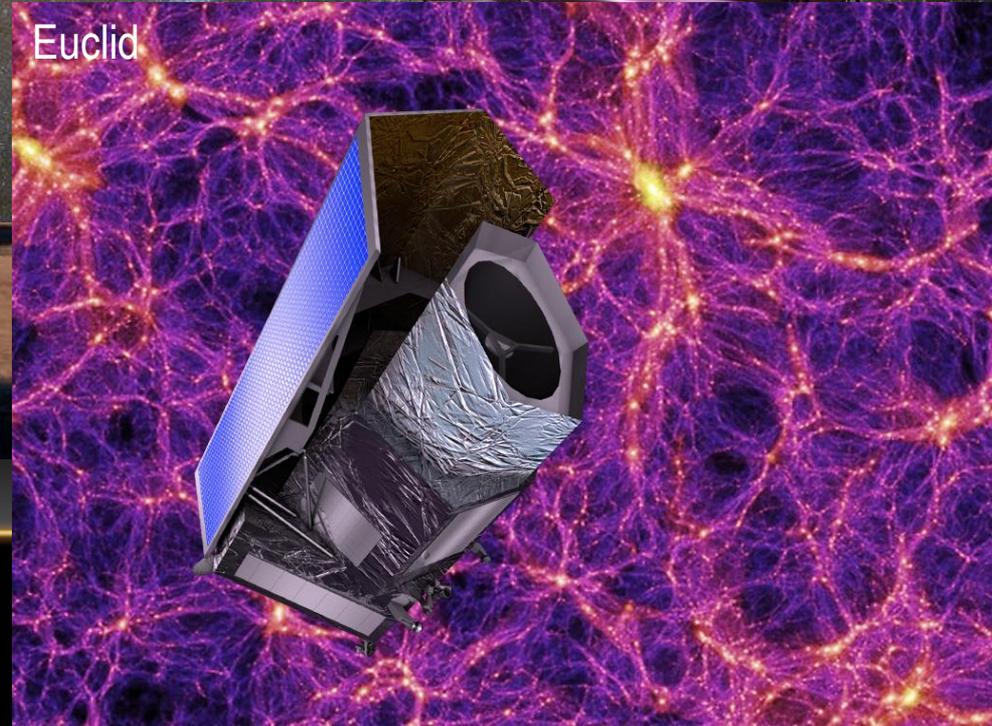
James Webb Space Telescope



ALMA



Euclid



# CONCLUSION

---

Et questions