L'Univers invisible en images

Vincent Minier

Astrophysicien au CEA Saclay

Chercheur associé au Centre François Viète, Université de Nantes

Contact et site Internet

http://www.vincentminier.fr

vincent.minier@cea.fr

Plan du cours: 4 séances

1. Introduction – Pré requis (14/12/2012)
2. Déconstruction d'images brillantes (21/12/2012)
3. Déconstruction d'images sombres (11/01/2013)
4. Construction d'une image scientifique (***18/01/2013***)

Séance #3: les images sombres

1. Nébuleuses
2. Matière noire
3. Trou noir supermassif

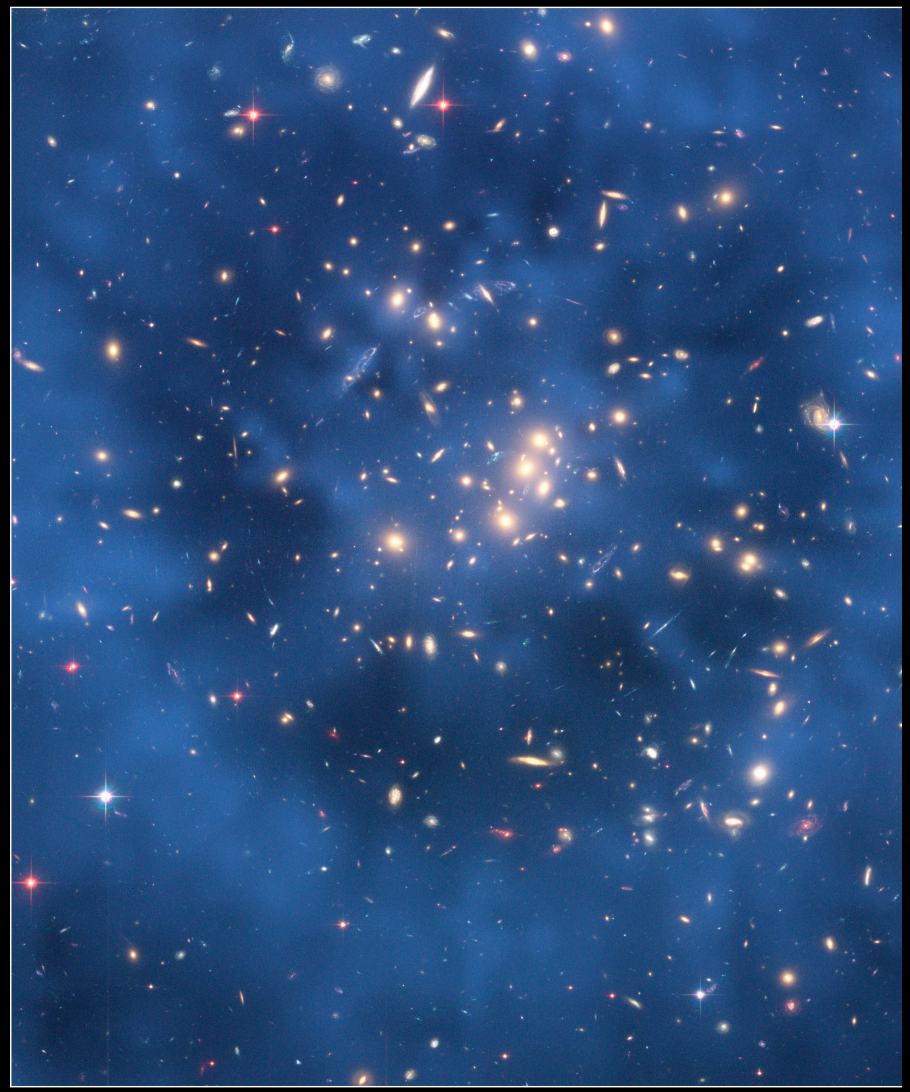
Le noir/sombre dans la Physique

Les grands rêveurs du noir voudront même découvrir le noir dans la noirceur, ce noir aigre qui travaille sous la noirceur émoussée, ce noir de la substance produisant sa couleur d'abîme… *Gaston Bachelard, La Terre et les Rêveries du repos*.

Les ténèbres substantielles constituent un cinquième élément imprévu mais impossible à refouler qui hante les études de l'imagination matérielle et dynamique. *Vincent Bontems, Bachelard et la matière ténébreuse – une psychanalyse de la matière noire.*

Noir = absence de couleur. Noir = invisible dans le visible (nébuleuse). Noir = une limite de détection (sensibilité). Noir = le vide (densité). Noir = tout est absorbé (corps noir). Noir = rien ne sort (trou noir). Noir/sombre (dark) = ignorance de la nature d'un phénomène, d'une matière ou d'une énergie.

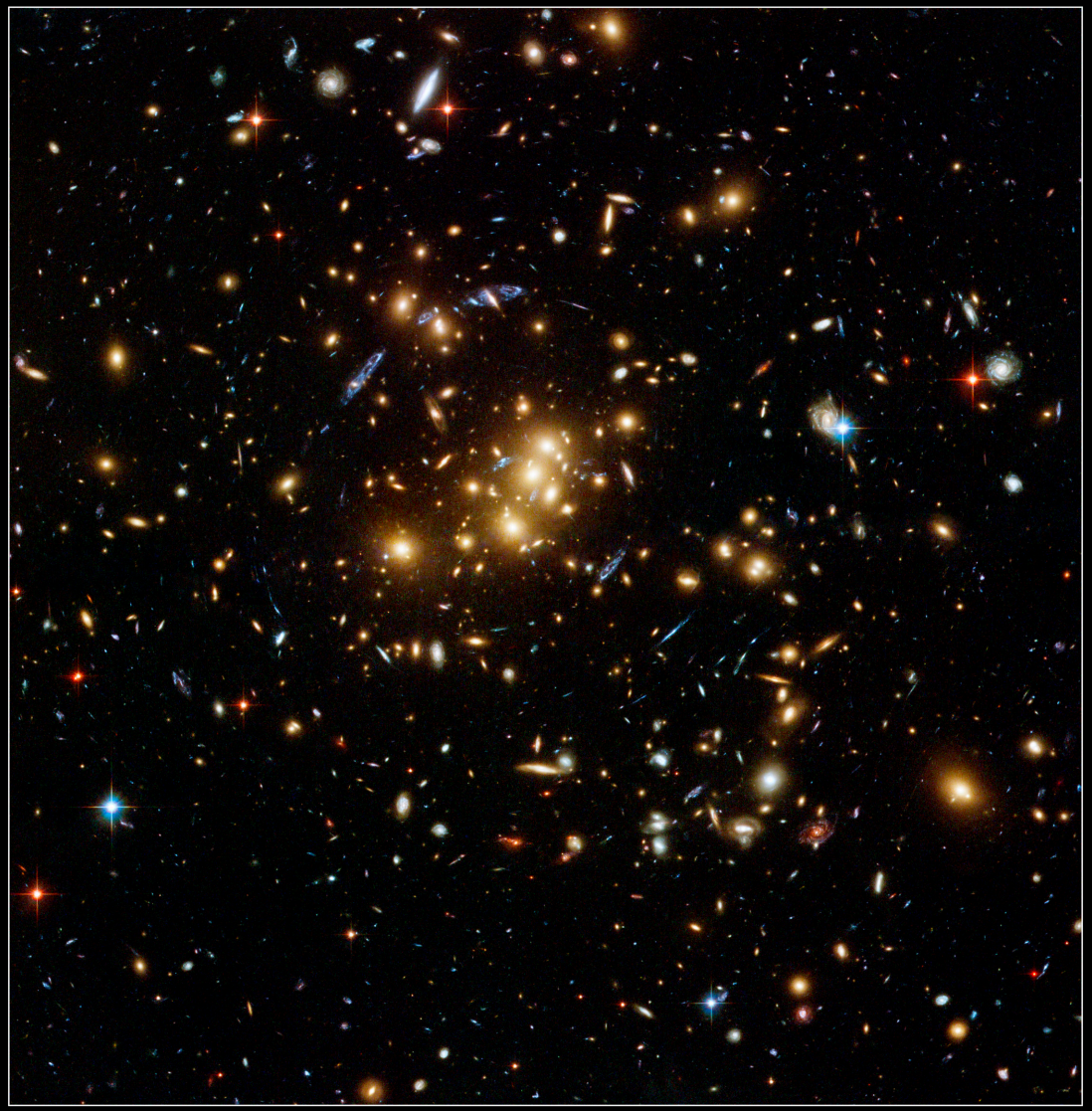
Comment et pourquoi coloriser le noir ?



Dark Matter Ring in Galaxy Cluster Cl 0024+17 (ZwCl 0

Hubble Space Telescope • ACS/WFC

NASA, ESA, and M.J. Jee (Johns Hopkins University)



Galaxy Cluster Cl 0024+17 (ZwCl 0024+1652)

Hubble Space Telescope • ACS/WFC

NASA, ESA, and M.J. Jee (Johns Hopkins University)

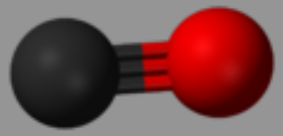
STScI-PRC07-17b

Séance #3: les images sombres

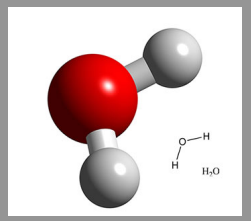
1. Nébuleuses
2. Matière noire
3. Trou noir supermassif

Milieu interstellaire: gaz + poussière

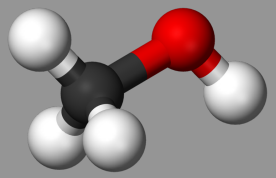
- Gaz: H, H_2



CO [10^{-4}]
Monoxyde de carbone



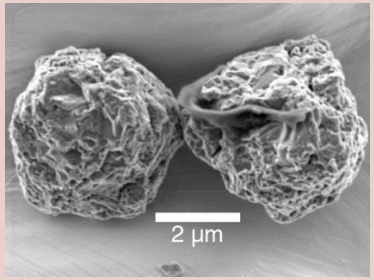
H_2O [10^{-5}]
Eau



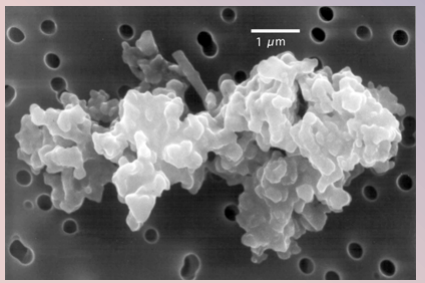
CH_3OH [10^{-6}]
Méthanol

H_2O^+, HCO^+, C_4H^-, H_3^+...

- Poussière: petits solides

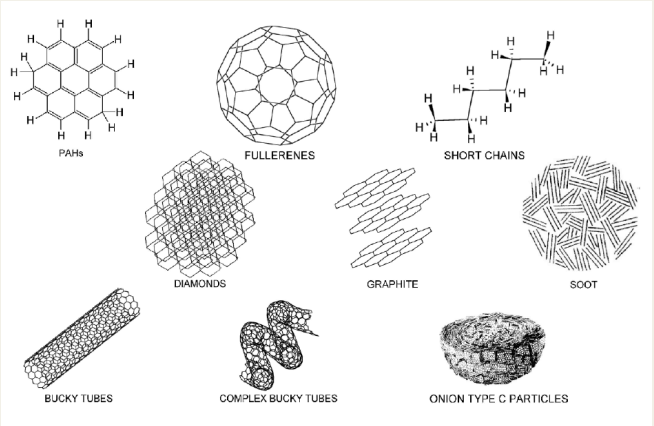


Sur la météorite de Murchison



Grains de poussière interplanétaires

- Molécules carbonacées



Ehrenfreund & Charnley 2000

La matière interstellaire: du gaz raréfié (H_2, CO…)

Survol d'un nuage moléculaire géant

<u>Masse volumique</u>

Atmosphère : 1 g/l

Everest : 0.3 g/l

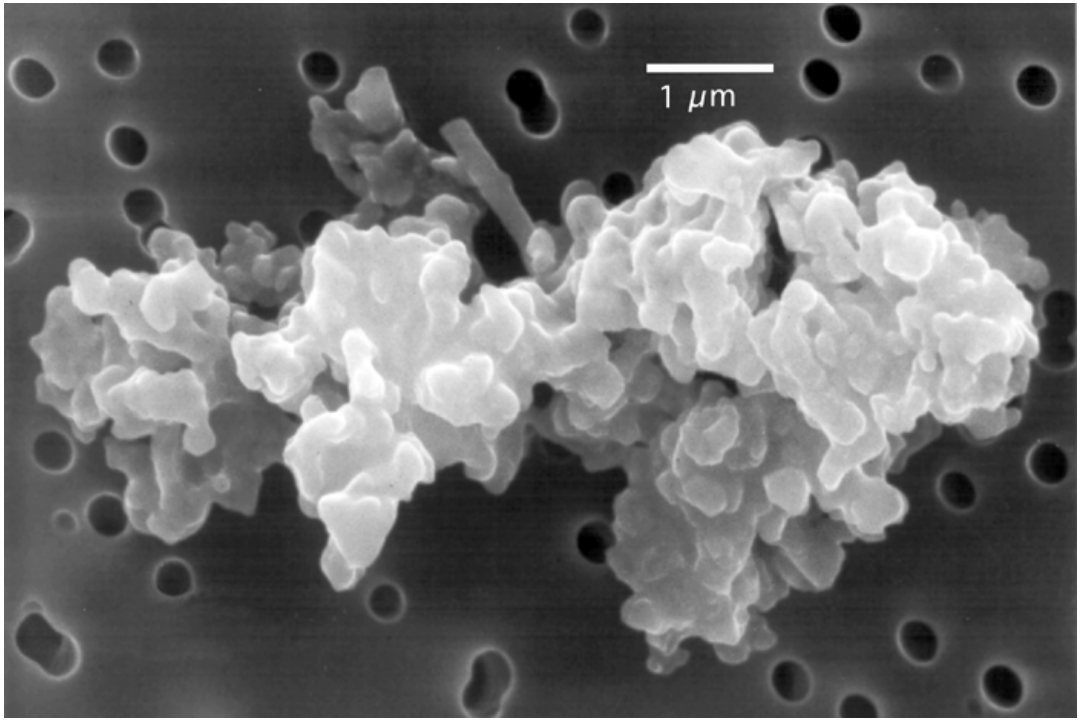
Vide en labo :
10^{-13} g/l

Record du vide :
10^{-17} g/l

Nuages moléculaires : 10^{-18} à 10^{-16} g/l

Milieu interstellaire :
10^{-21} g/l
(1 molécule par cm^3)

La matière interstellaire: de la poussière…



Grains de poussière interplanétaire

<u>Grains de poussière</u>

Solides de petites tailles

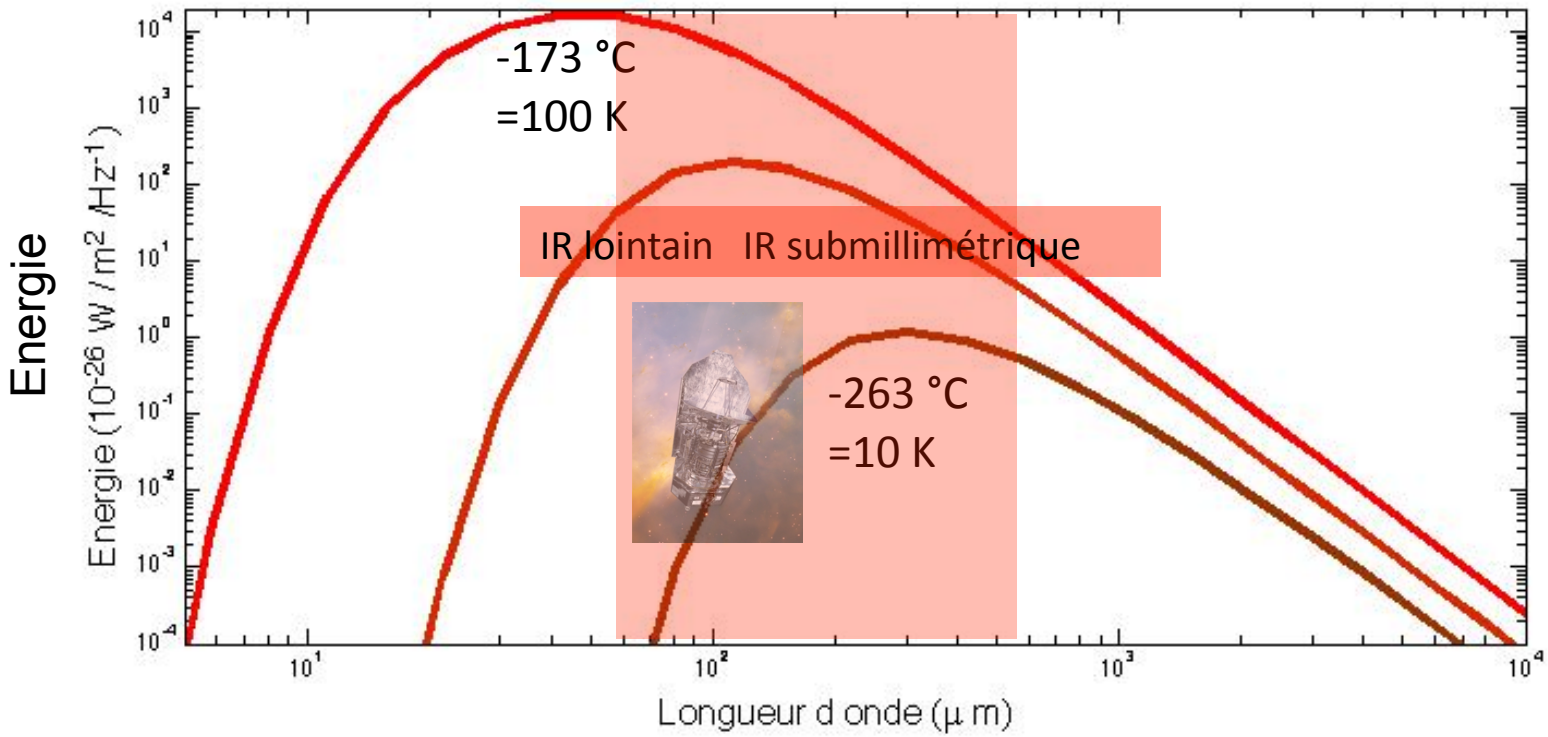
Composition:
silicates (sable)
carbone (diamant, graphite…)

Taille « moyenne »=0.1 μm

Absorbent la lumière visible

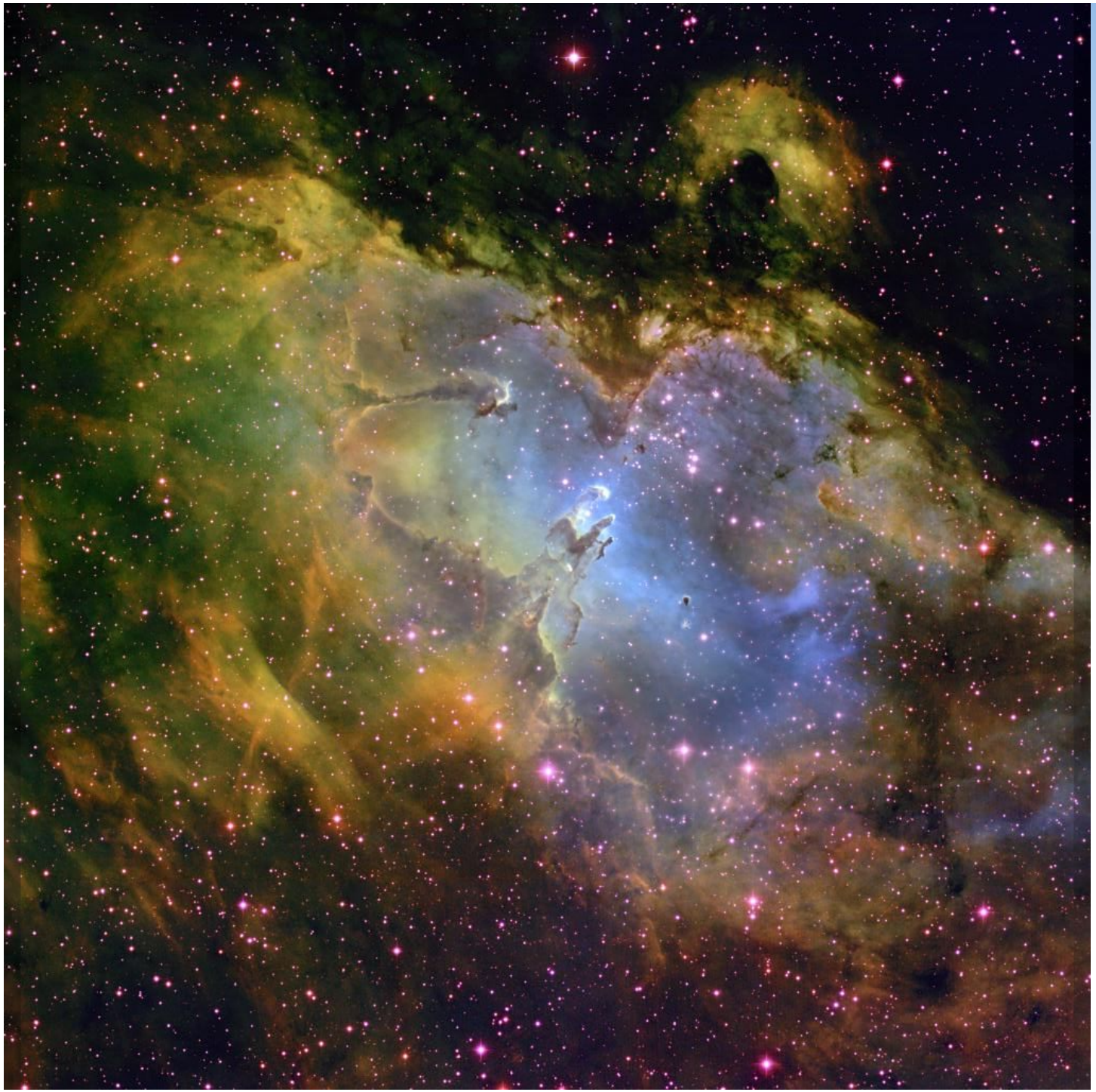
Emettent dans l'infrarouge

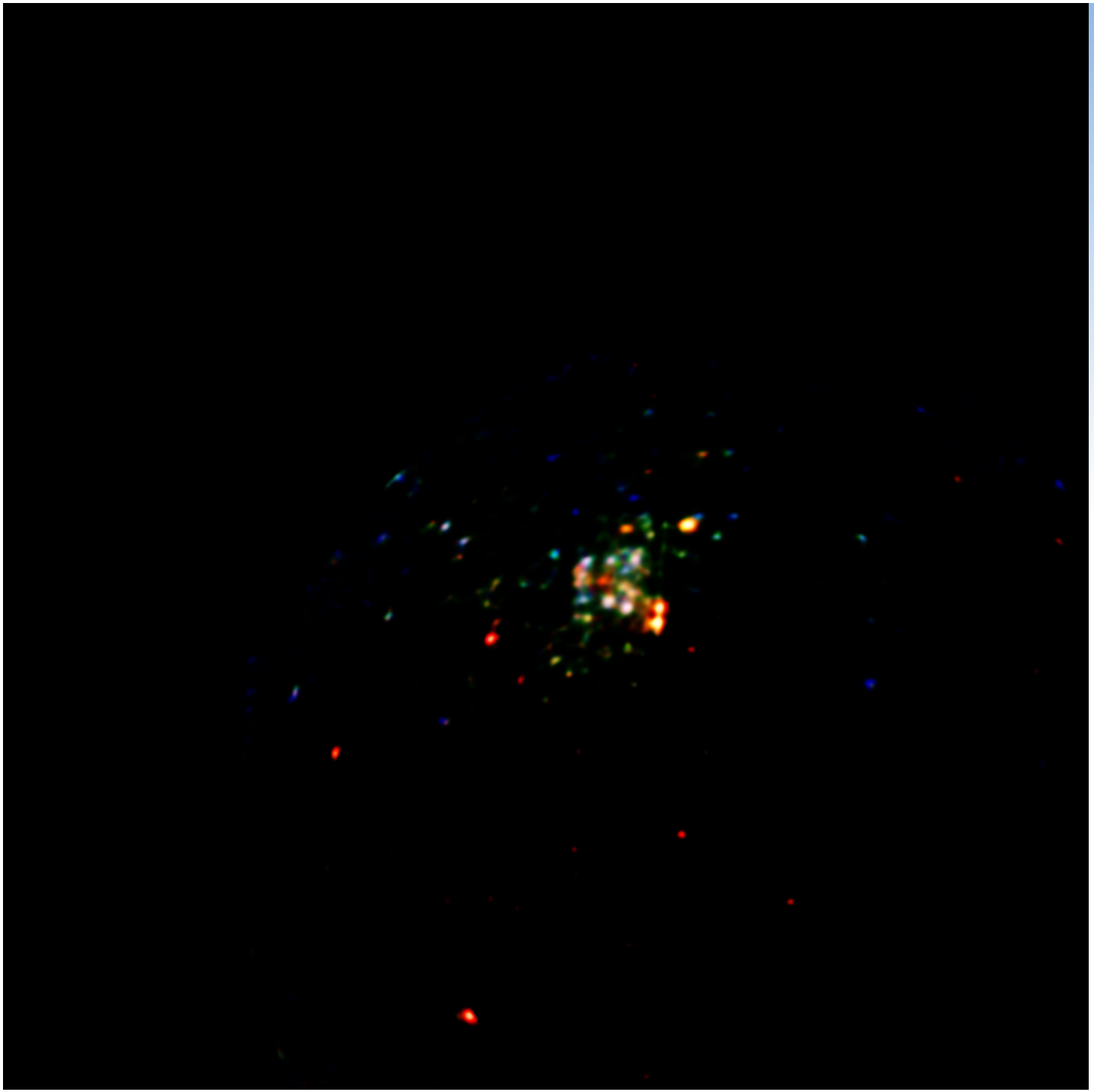
La poussière du milieu interstellaire rayonne dans l'infrarouge (comme un radiateur)



Plus on se décale vers l'infrarouge submm,
plus les poussières sont froides

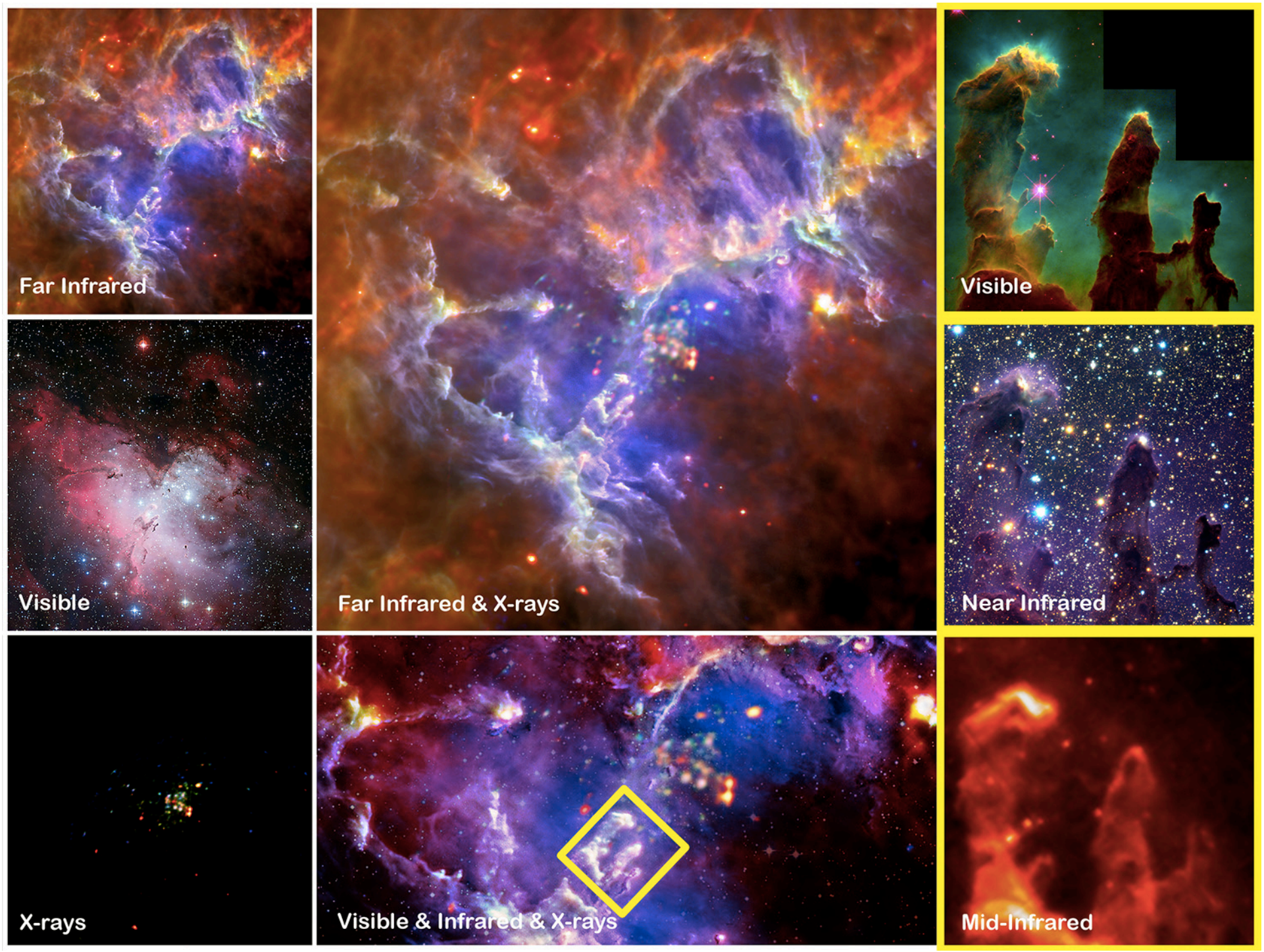
Pierre Valeau – Société d’astronomie de Nantes





Démo Kvis

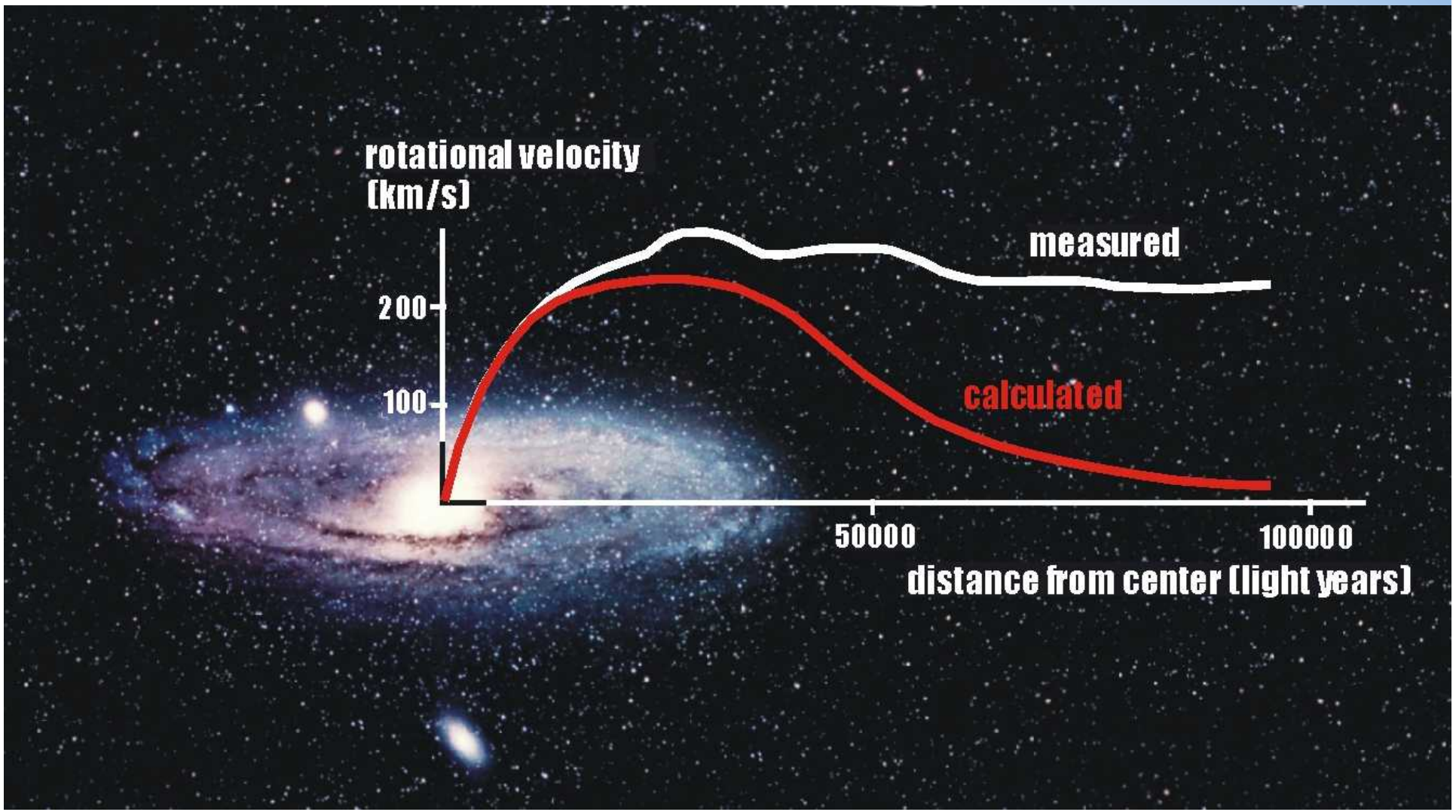
- + relation Masse / Energie poussière


Far Infrared
Visible
Visible
Far Infrared & X-rays
Near Infrared
X-rays
Visible & Infrared & X-rays
Mid-Infrared

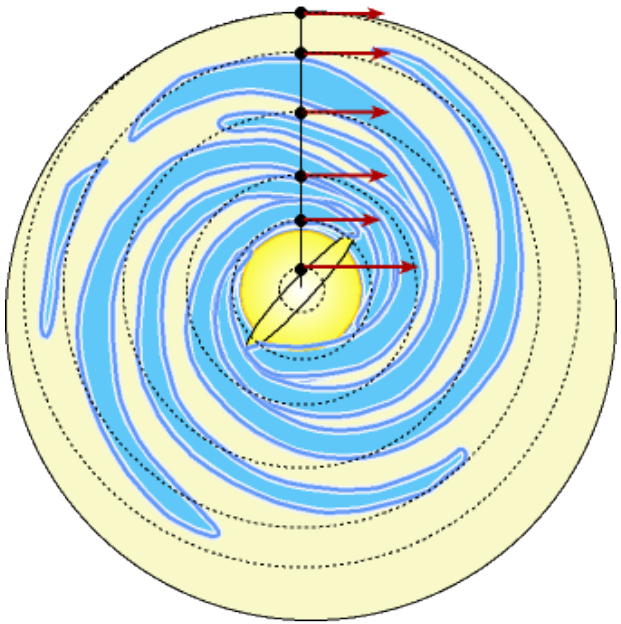
Séance #3: les images sombres

1. Nébuleuses
2. Matière noire
3. Trou noir supermassif

Matière noire ou sombre (dark matter):
un fait observé – la courbe de rotation galactique



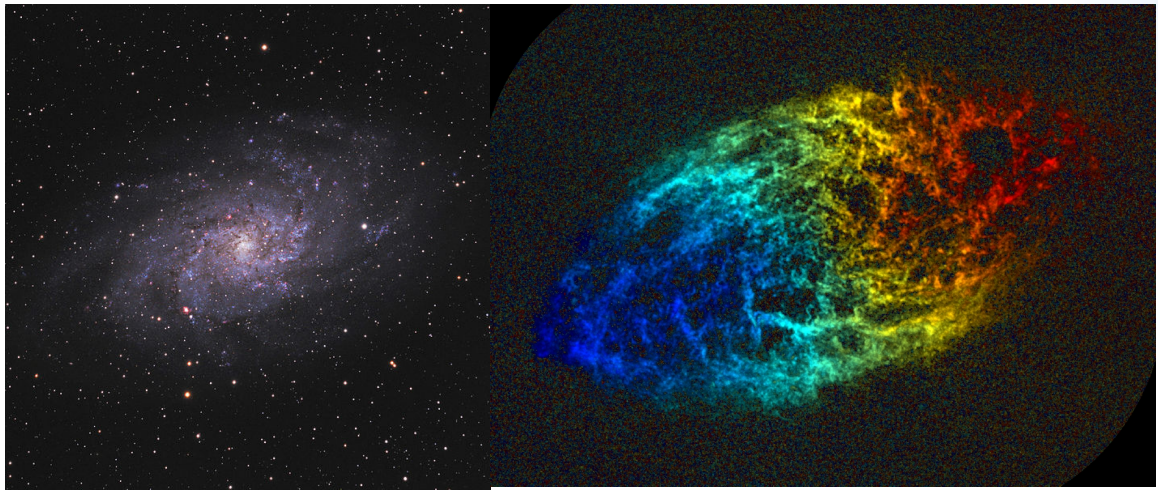
Matière noire ou sombre (dark matter): un fait observé – la courbe de rotation galactique



The mass inside an orbit can be found using the size of the orbit and the orbital speed. The arrows show the speeds for certain points on the **rotation curve** for this galaxy.

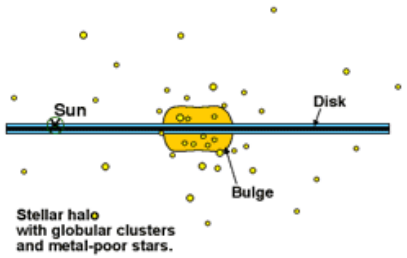
http://www.astronomynotes.com/ismnotes/s7.htm

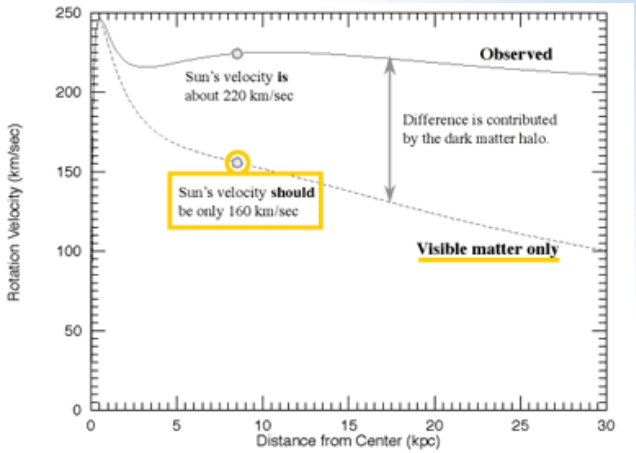
- La gravité accélère les étoiles.
- La gravité est due à la masse incluse à l'intérieur de l'orbite de l'étoile. $M=r \times v^2/G$ (basé sur Newton).
- La masse est celle de l'ensemble de la matière et des astres = étoiles, gaz atomique et moléculaire.



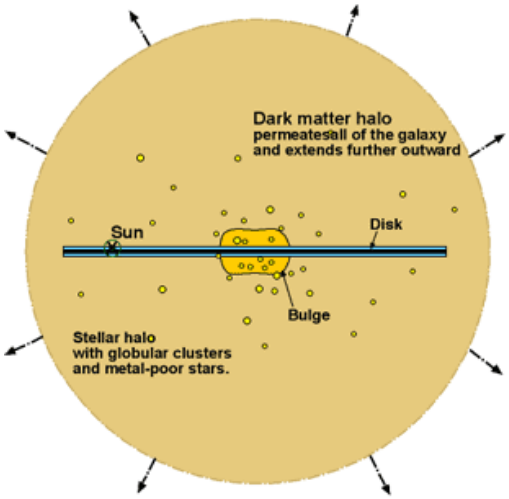
M33 dans le visible et vu à travers l'hydrogène (H).
Les couleurs sont proportionnelles à la vitesse.

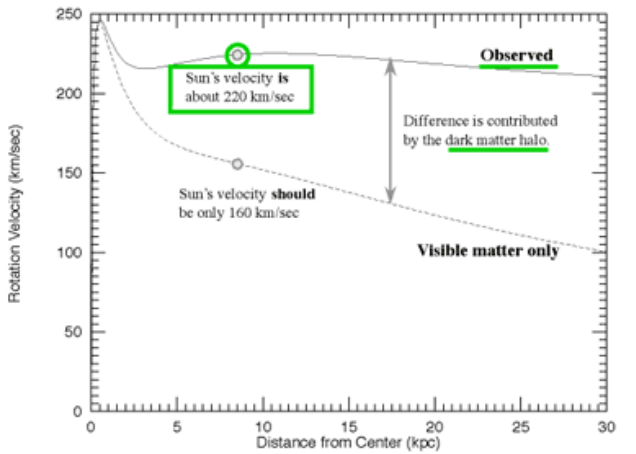
Matière noire ou sombre (dark matter):
un fait observé – la courbe de rotation galactique





Rotation curve shows that
there is "extra" gravity.

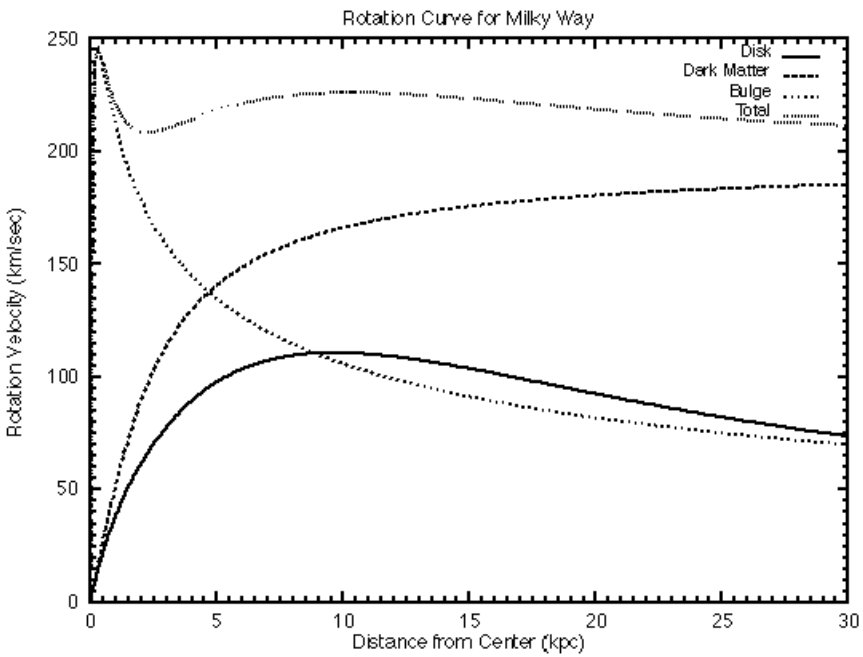


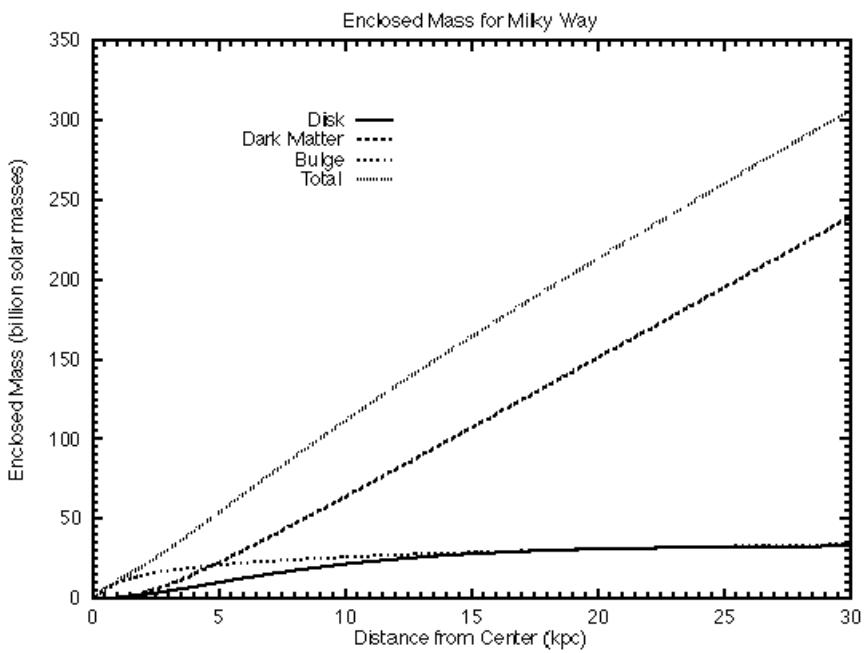


The gravity of the visible matter in the Galaxy is not enough to explain the high orbital speeds of stars in the Galaxy. For example, the Sun is moving about 60 km/sec too fast. The part of the rotation curve contributed by the visible matter only is the bottom curve. The discrepancy between the two curves is evidence for a **dark matter halo.**

http://www.astronomynotes.com/ismnotes/s7.htm

Matière noire ou sombre (dark matter): un fait observé – la courbe de rotation galactique

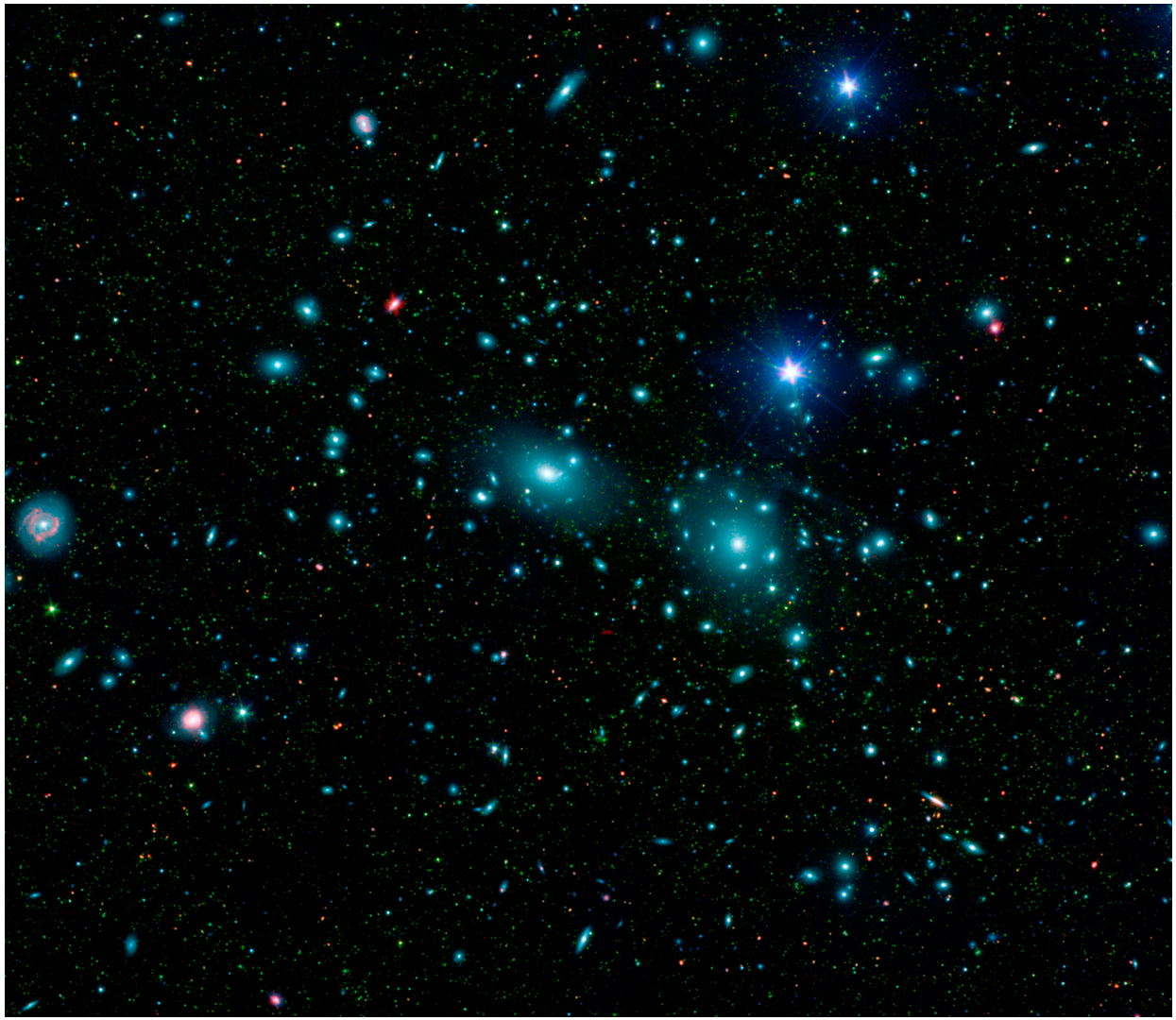




Extra masse à partir de ~ 5 kpc du centre de la Galaxie. Mais cette masse supplémentaire n'est pas associée à de la matière détectable à travers son rayonnement (gaz, étoiles …).

http://www.astronomynotes.com/ismnotes/s7.htm

Matière noire ou sombre (dark matter): fait observé – vitesse des galaxies en amas

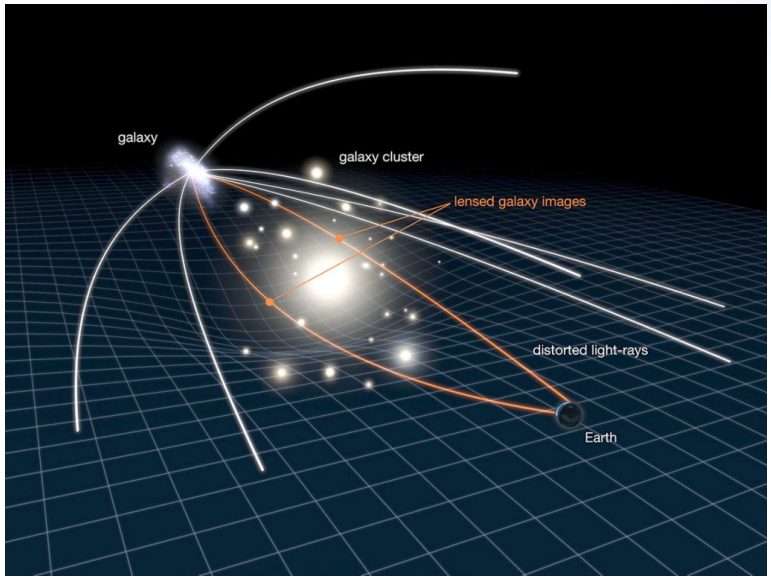


Amas de galaxie Coma

- 99 Mpc
- plus de 1000 galaxies
- 1933, Fritz Zwicky observe que les vitesses des galaxies ne s'expliquent pas uniquement par leur masse (via la gravité).
- Présence d'un halo de matière noire: 90% de la masse.

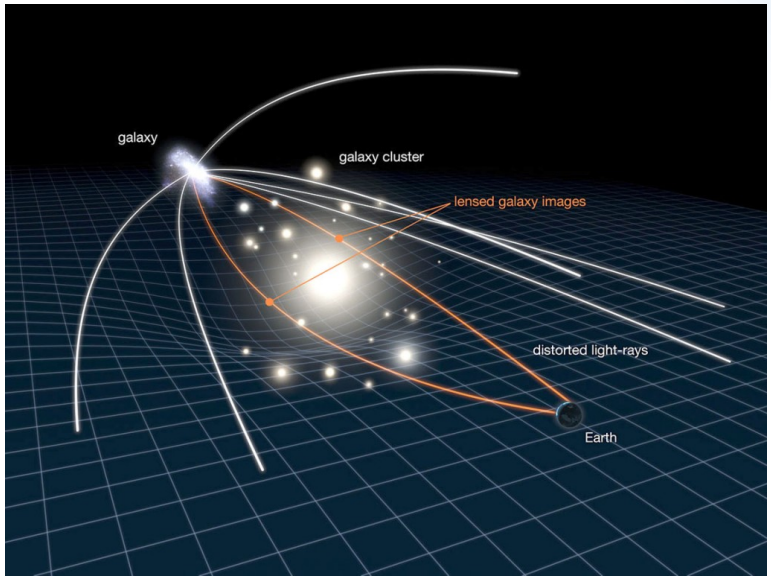
Matière noire ou sombre (dark matter): fait observé – lentille gravitationnelle

Objet: MACS J1206.2-0847 Object
R.A. 12h 06m 11s.98
Dec. -08° 48' 0".04
Constellation: La Vierge
Distance: 4,5 milliards d'années-lumière (1,2 milliards parsecs)

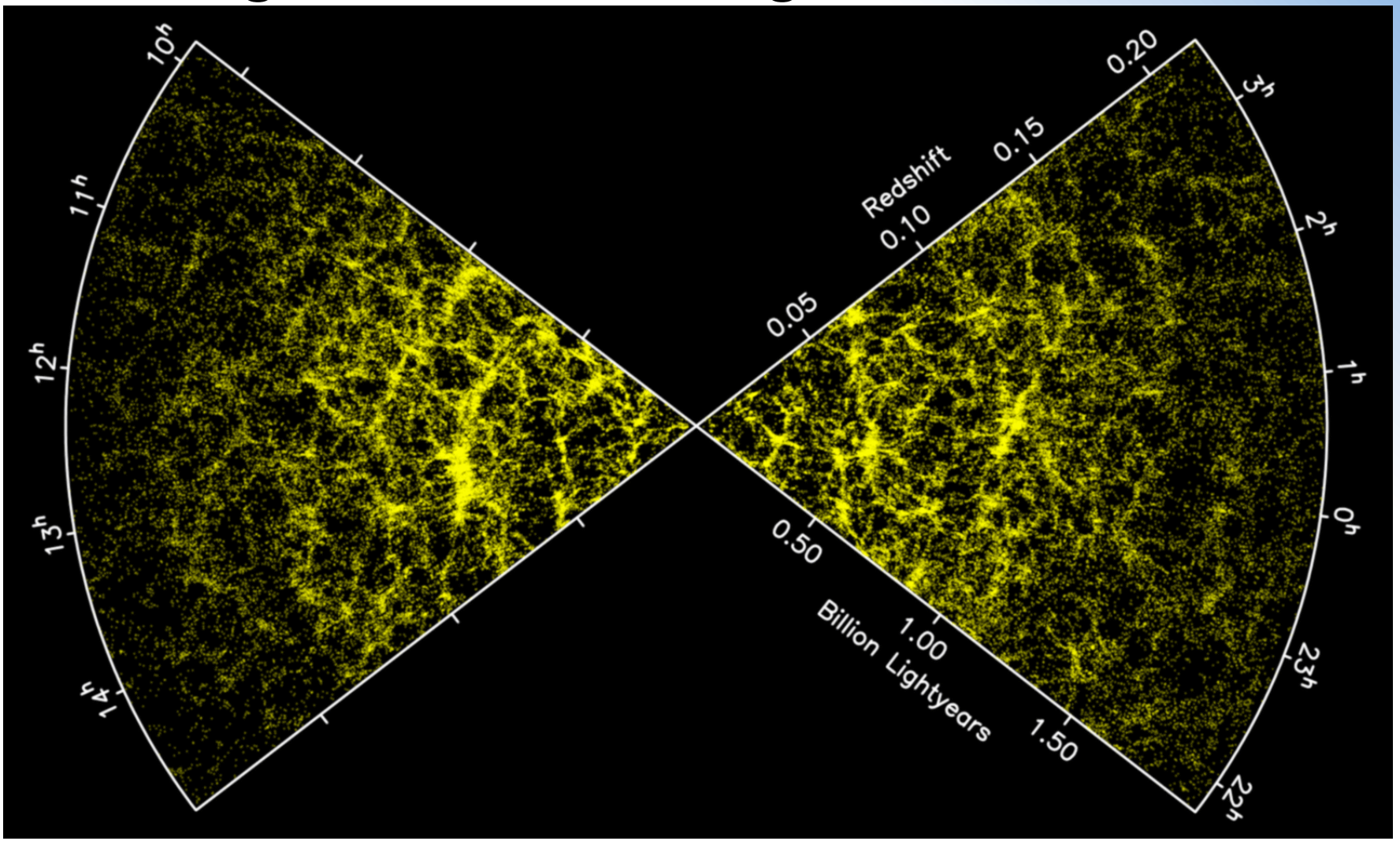


Matière noire ou sombre (dark matter):
fait observé – lentille gravitationnelle

Objet: MACS J1206.2-0847 Object
R.A. 12h 06m 11s.98
Dec. -08° 48' 0".04
Constellation: La Vierge
Distance: 4,5 milliards d'années-lumière (1,2 milliards parsecs)

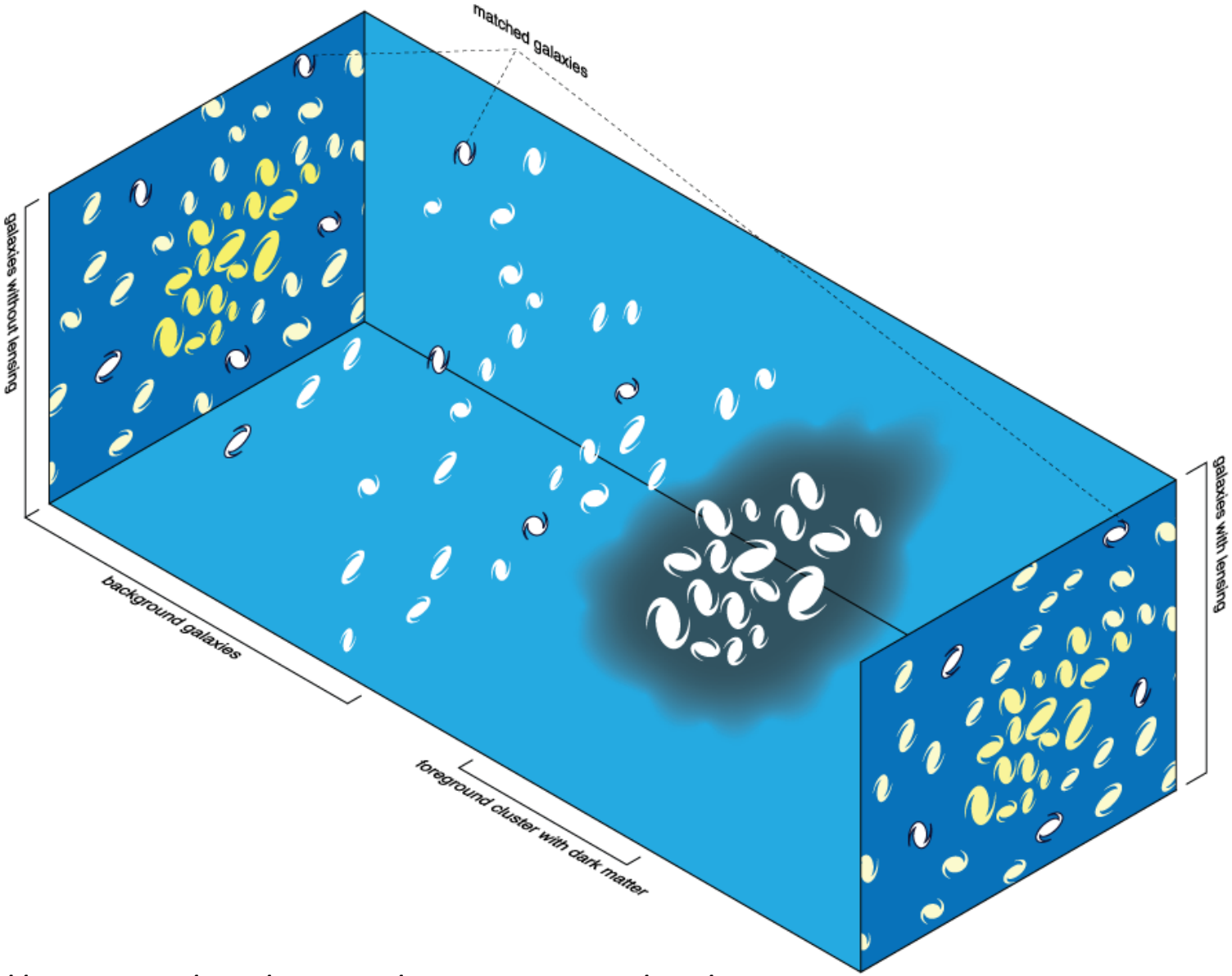


Cartographier la matière noire: utiliser des millions de galaxies et leur image déformée



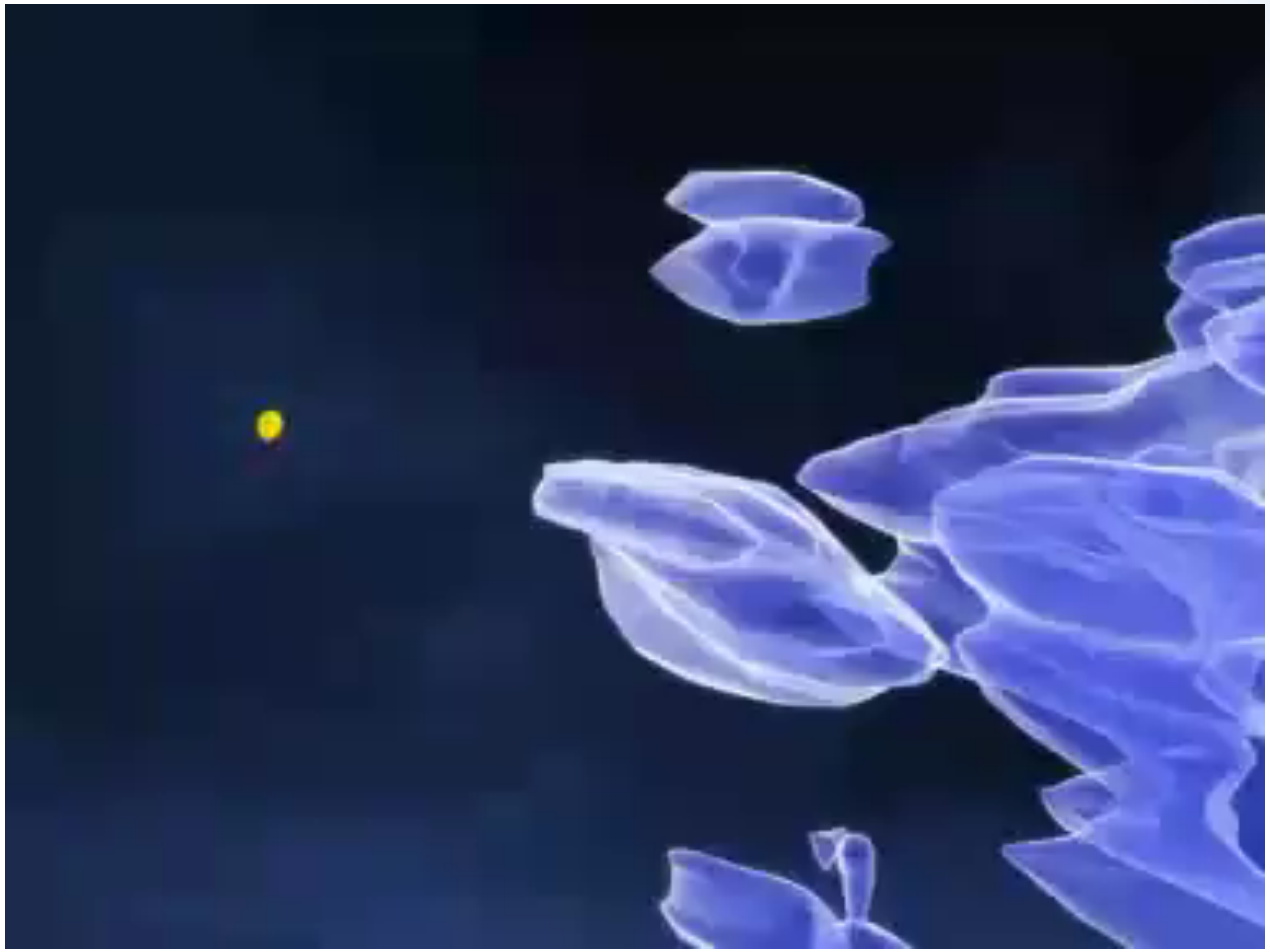
2dF survey: 220 000 galaxies jusqu'à redshift=3. http://msowww.anu.edu.au/2dFGRS/

Cartographier la matière noire par cisaillement gravitationnel



http://irfu.cea.fr/Sap/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=actu&id_ast=1123

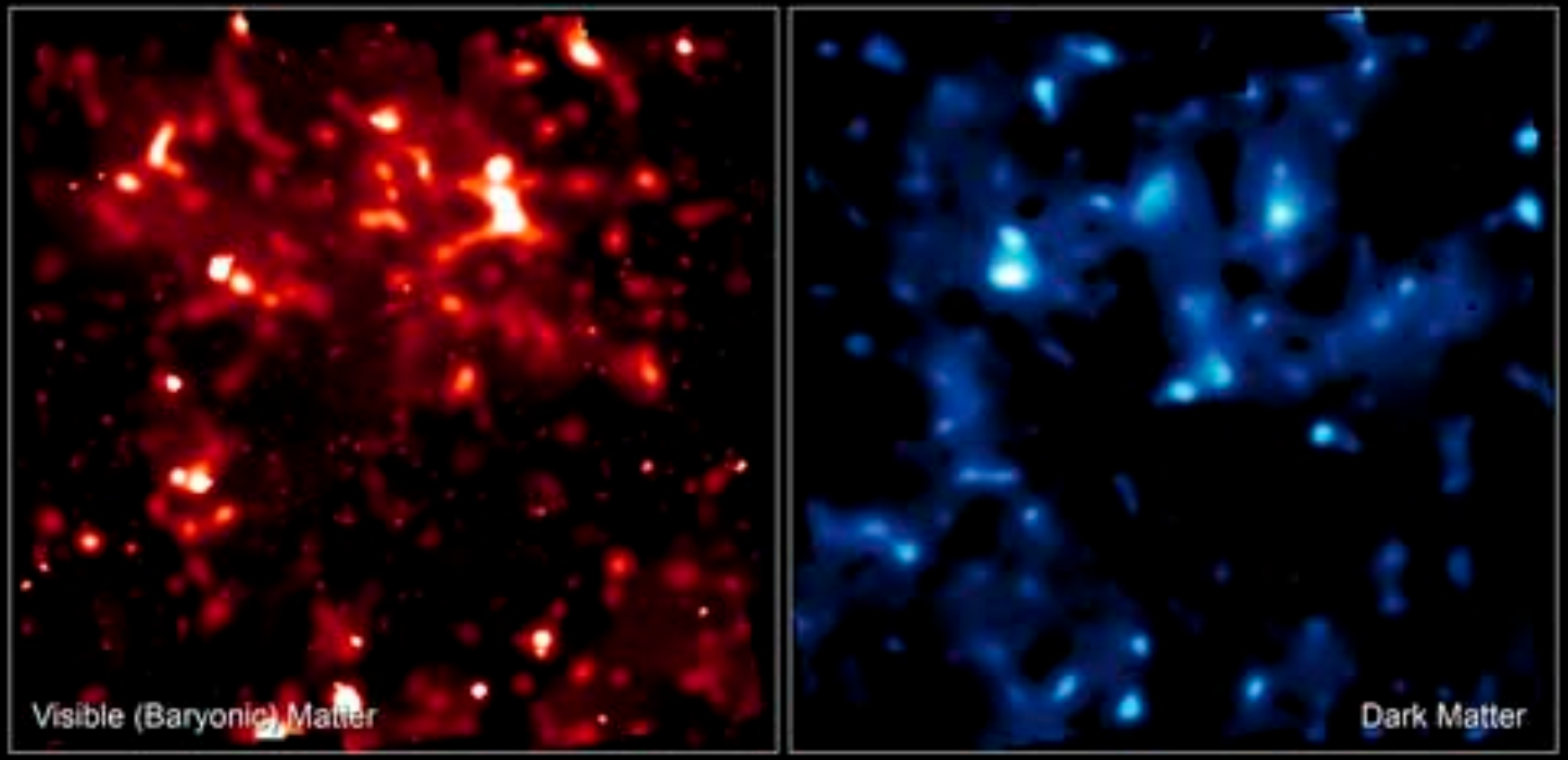
Cartographier la matière noire par cisaillement gravitationnel



Recomposition de la distribution de la matière noire entre il y a 3,5 et 6,5 milliards d'années.

Les observations furent réalisées par le programme COSMOS avec le télescope spatial Hubble.

http://irfu.cea.fr/Sap/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=actu&id_ast=1123



Distribution of Visible and Dark Matter • Cosmic Evolution Survey

Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

NASA, ESA, and R. Massey (California Institute of Technology)

STScI-PRC07-01b

Plusieurs types de matière noire

Matière baryonique (particules composées de quarks comme le proton ou le neutron) ou non baryonique ?

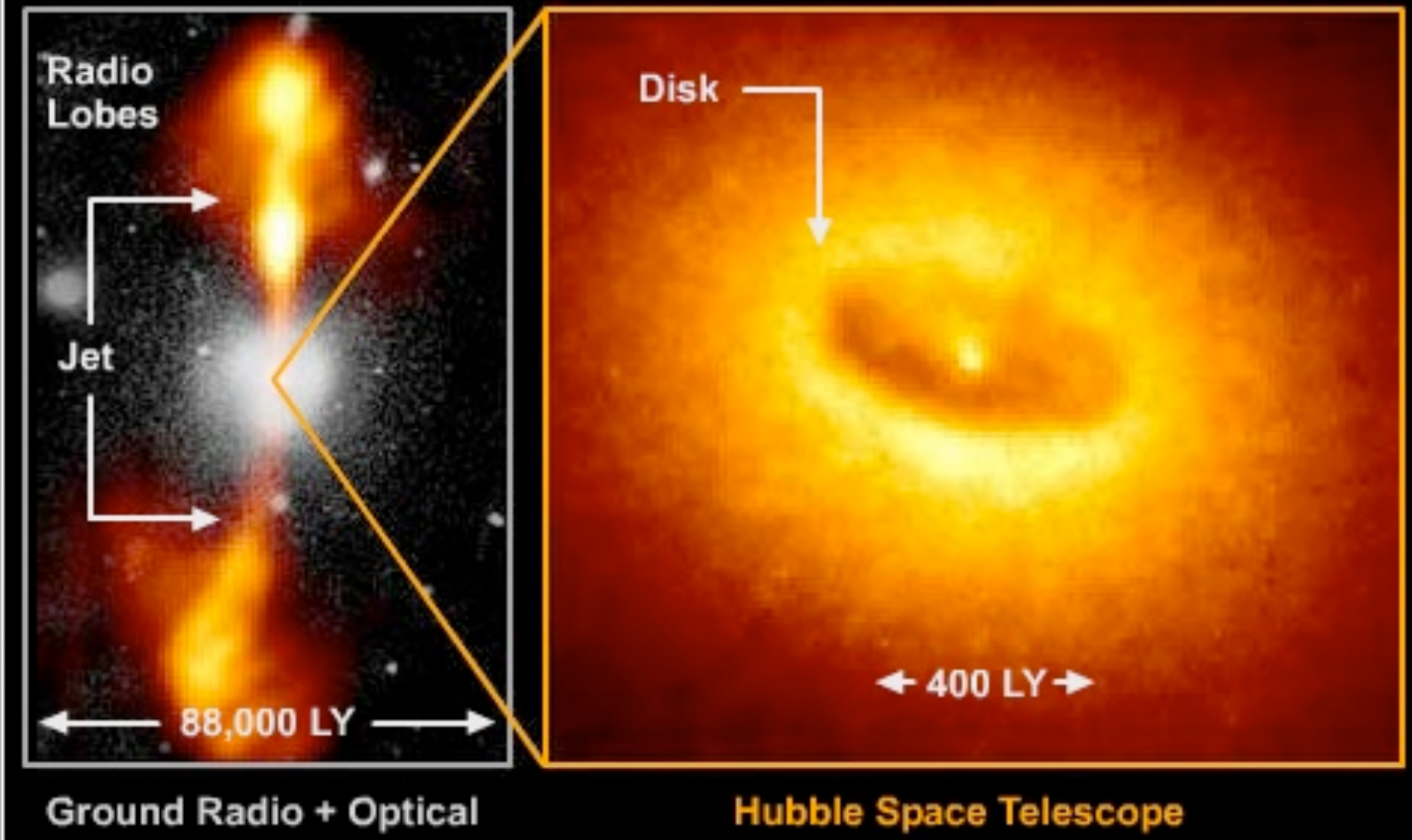
- Astres de faible intensité comme les naines brunes ?
- Antimatière ? Mais pas de rayonnement gamma intense où matière baryonique et matière noir pourrait interagir (annihilation matière – antimatière non observée).
- Trous noirs de la taille d'une galaxie ? Dans ce cas, forts effets de lentille gravitationnelle attendus et fréquents, mais non observés à ce jour.
- Population importante d'étoiles à neutron, isolées et peu visibles ?
- Solution actuelle vers une matière non baryonique comme les WIMPS (weakly interactive massive particles) ? Neutrino, axion, neutralino ?

Ou

Faut-il tout simplement modifier la théorie de la Gravité (Relativité Générale) ? Ex: MOND theory ?

Séance #3: les images sombres

1. Nébuleuses
2. Matière noire
3. Trou noir supermassif



The Center of NGC 4261