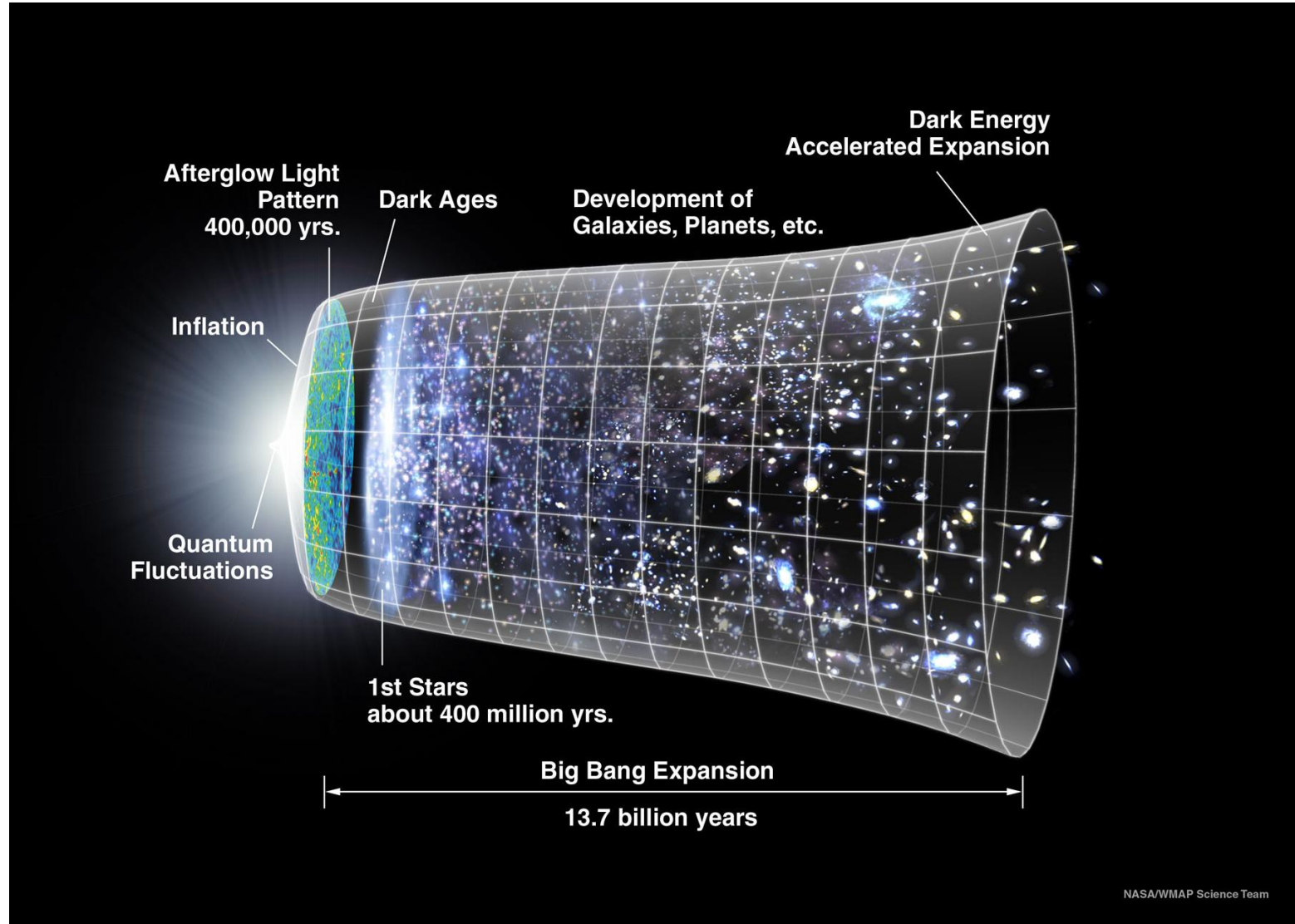


Les galaxies et les grandes structures

La cosmologie: les grandes structures et leur formation



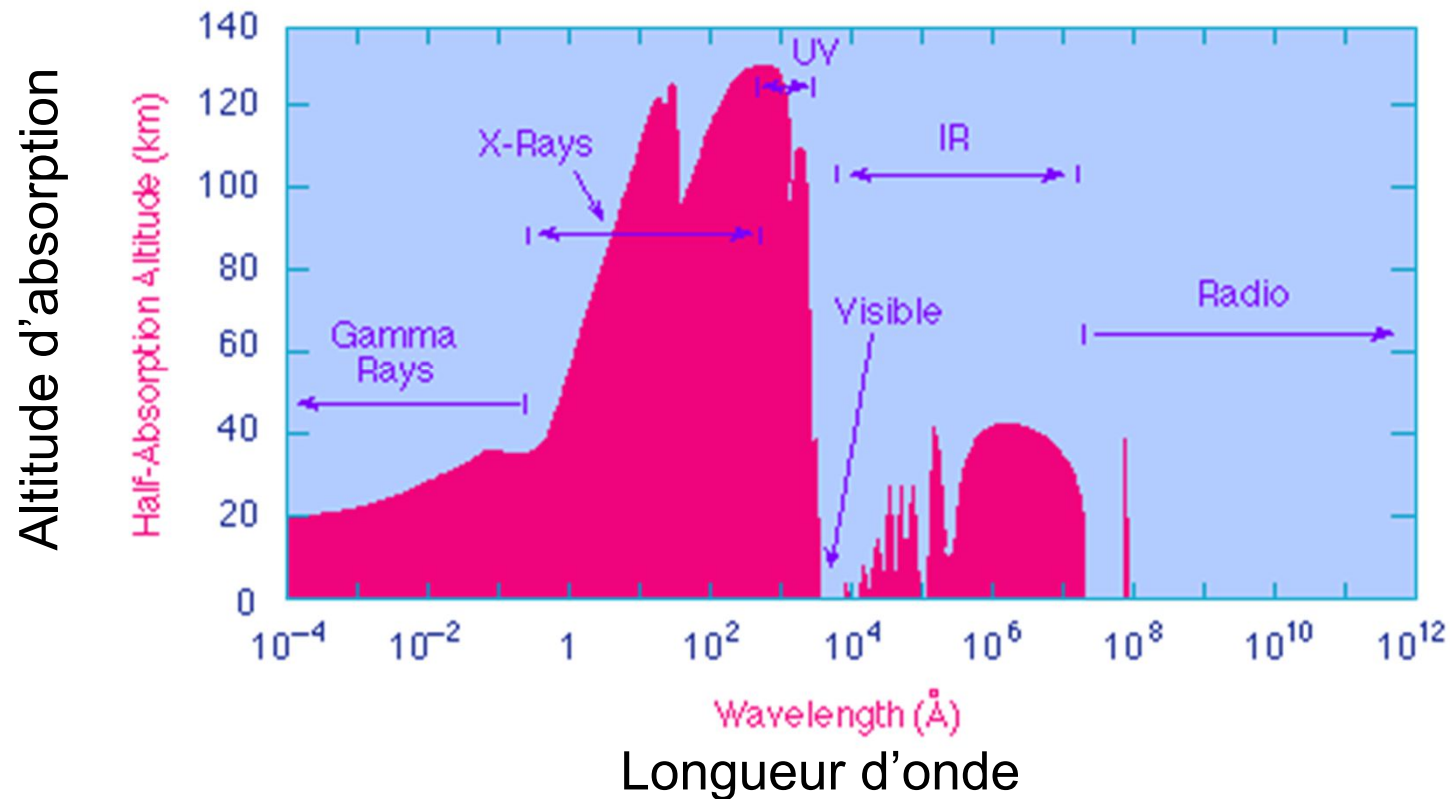
La masse dans l'univers

- Étoiles
- Matière interstellaire: gaz ionisé, atomique ou moléculaire
- Poussière
- Matière baryonique (5%)
- Masse sombre (26%)

Que voit-on à quelle longueur d'onde

- **Radio**: continu: gaz ionisé chaud, émission synchrotron (électrons+champ magnétique); raies: hydrogène atomique (HI, 21cm), molécules (mm)
- **Infrarouge** lointain ($\sim 100\mu\text{m}$): poussière froide; moyen ($\sim 10\mu\text{m}$): poussière chaude; proche: étoiles géantes
- **Optique**: étoiles, gaz ionisé chaud, poussière en absorption
- **UV**: étoiles (surtout jeunes)
- **Rayons X**: gaz ionisé très chaud (>1 million degrés)

L'atmosphère terrestre



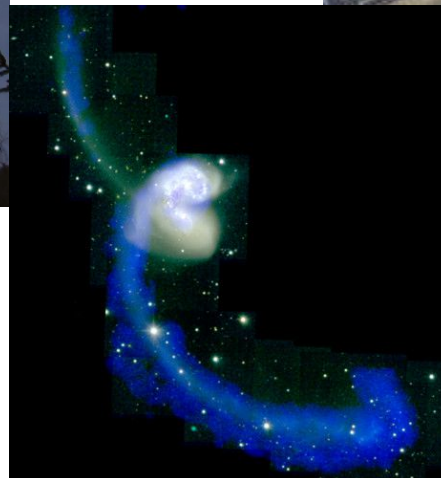
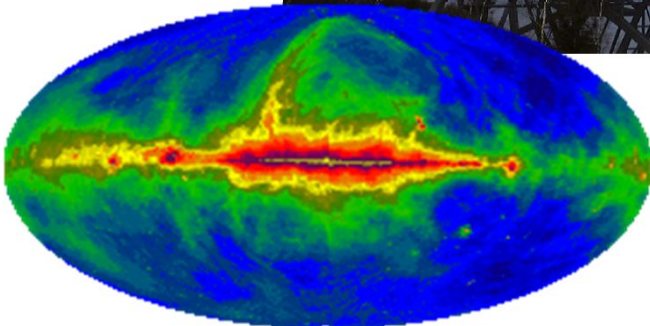
Observation au sol: radio, IR proche, visible

Observation spatiale: IR, UV, rayons X, rayons gamma

Radio - cm

Effelsberg 100m - Allemagne

Very Large Array (VLA) - USA

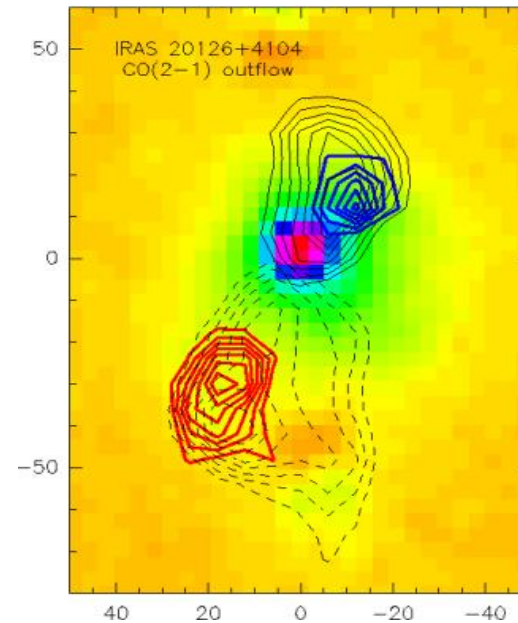
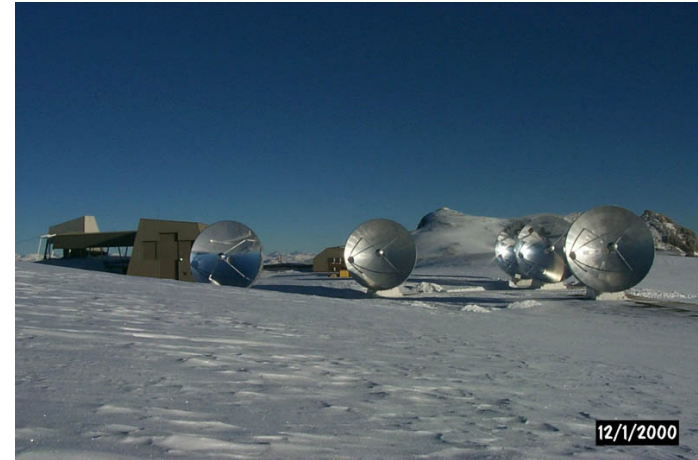


Radio - mm

IRAM 30m – Espagne



IRAM Plateau de Bure - France

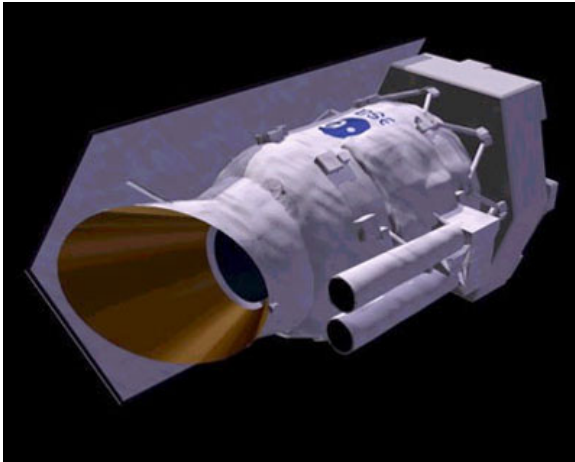


red—high 47.5 to 55.6 km/s
blue—high -58.0 to -43.4 km/s
--- red 03.7 to 55.6 km/s
— blue -58.0 to -10.9 km/s
color 1.2 mm continuum

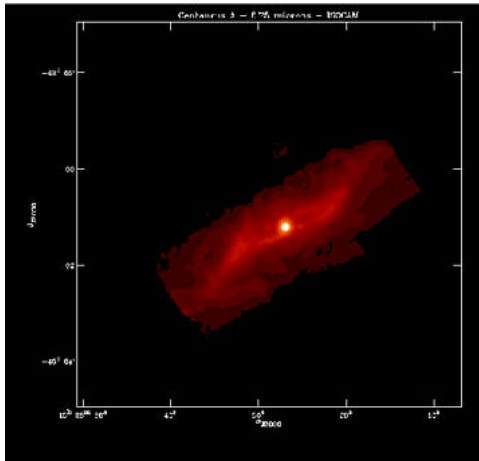
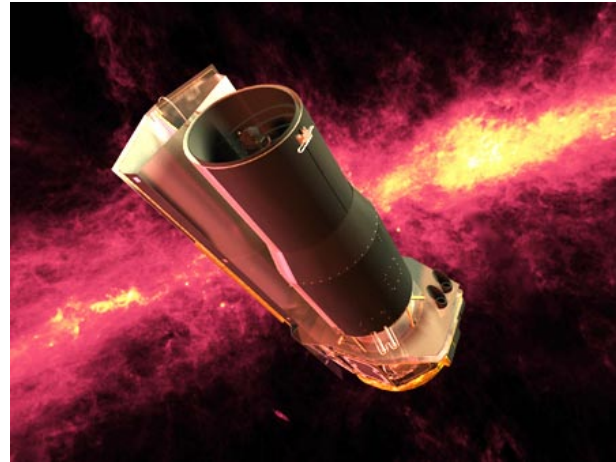
Stellar outflow

Infrarouge

ISO



Spitzer



Cen A



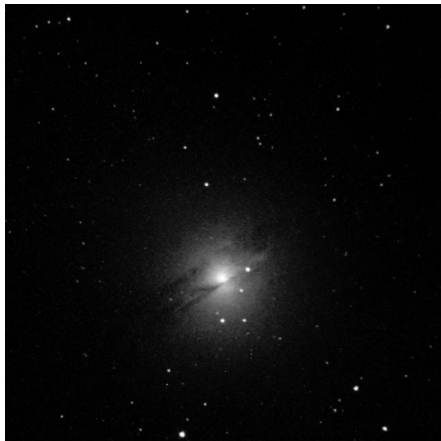
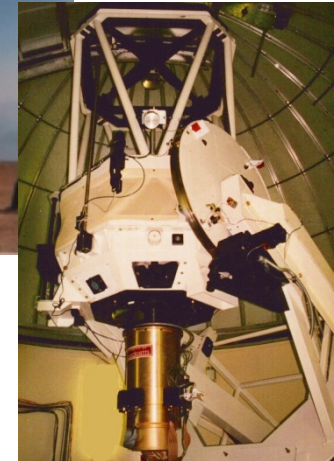
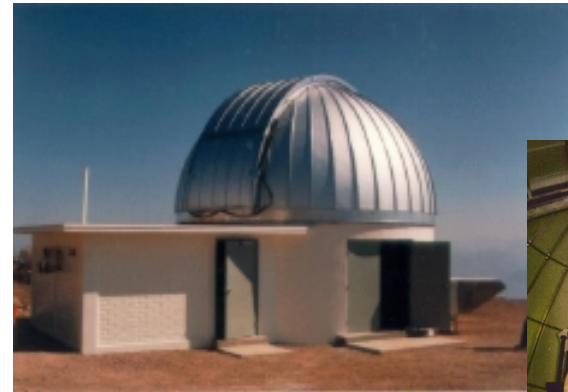
M66

Infrarouge proche

DENIS



2MASS NIR survey



Cen A



Andromède
M31

Infrarouge proche et moyen

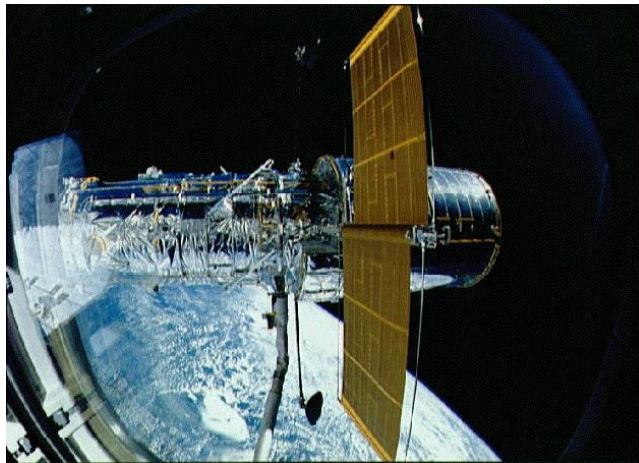


JamesWebb
Telescope

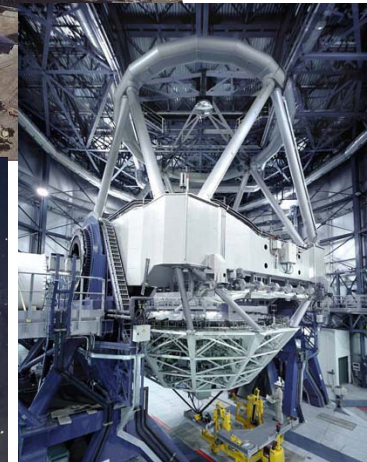
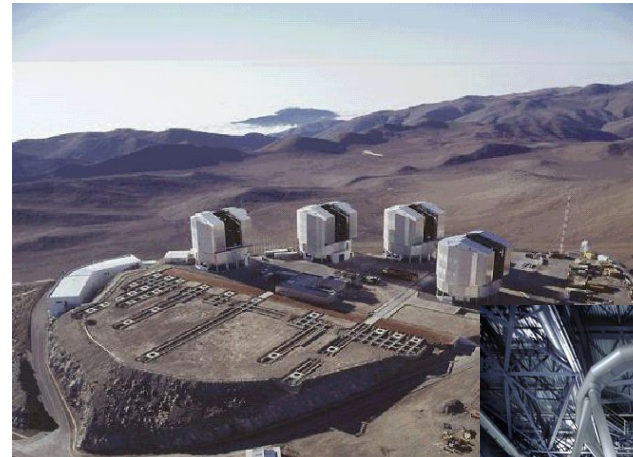
Stephan's
Quintett

Télescopes optiques

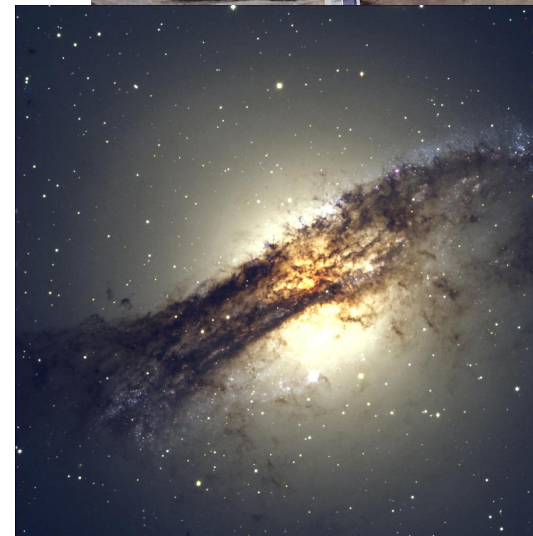
Hubble space telescope (HST)



Very large telescope (VLT)



M51



Centaurus A Radio Galaxy (VLT KUEYEN + FORS2)

ESO PR Photo 05b/00 (8 February 2000)

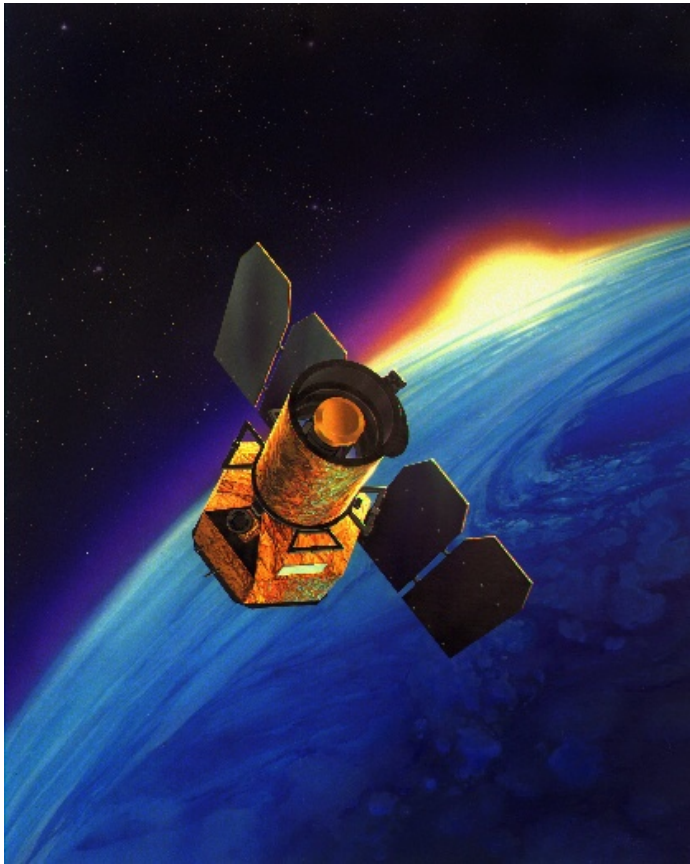
© European Southern Observatory



Cen A

Ultraviolet (UV)

GALEX

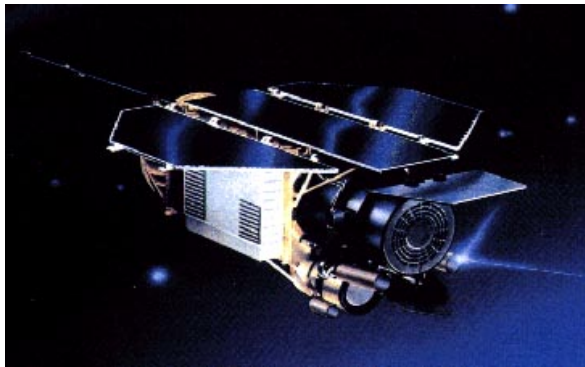


M51

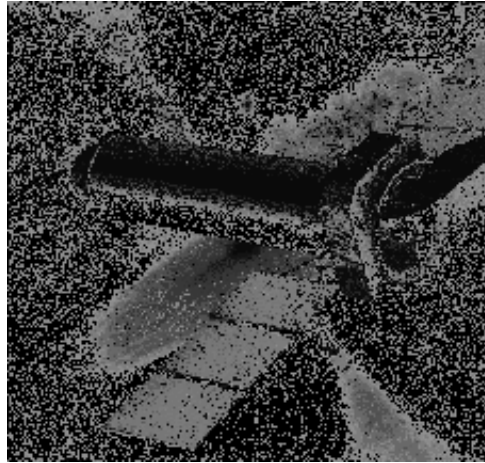


Rayons X

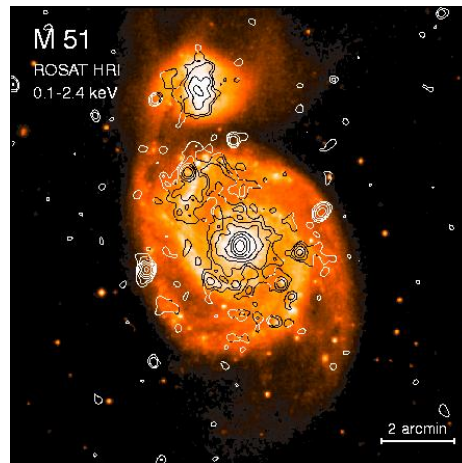
ROSAT



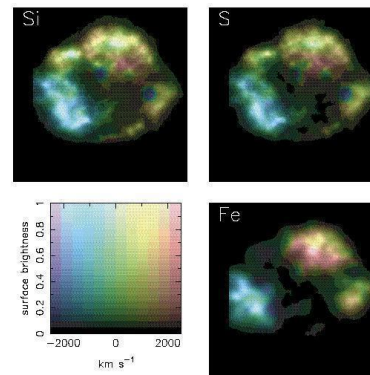
XMM-Newton



Chandra



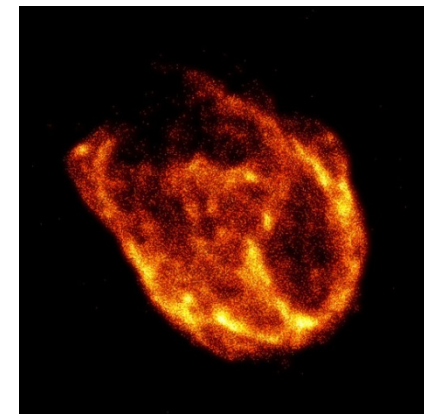
M51



Supernova Remnant Cassiopeia A

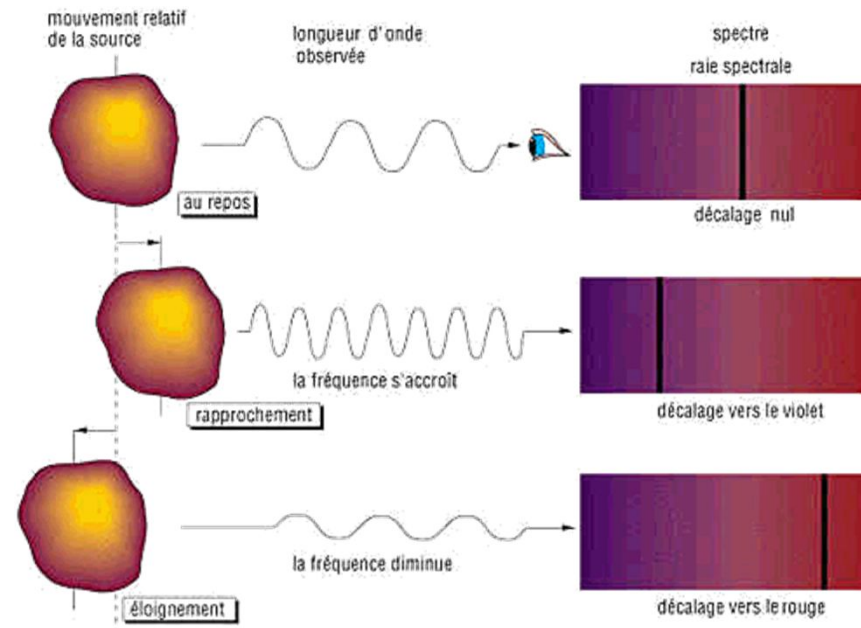
European Space Agency

supernova remnants



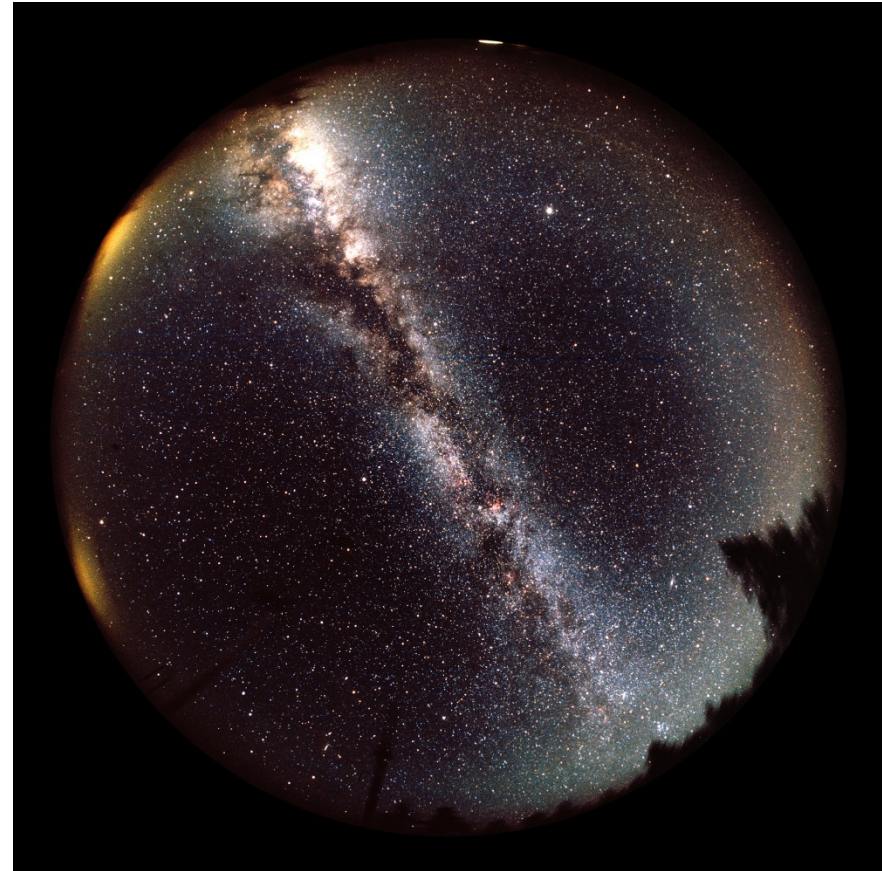
L'effet Doppler

- Déplacement d'une raie émise par un objet qui bouge le long de la ligne de visée
- Mesure de la vitesse radiale
- $\Delta\lambda/\lambda = v_r/c$
 - λ : longueur d'onde
 - v_r : vitesse radiale
 - c : vitesse de la lumière

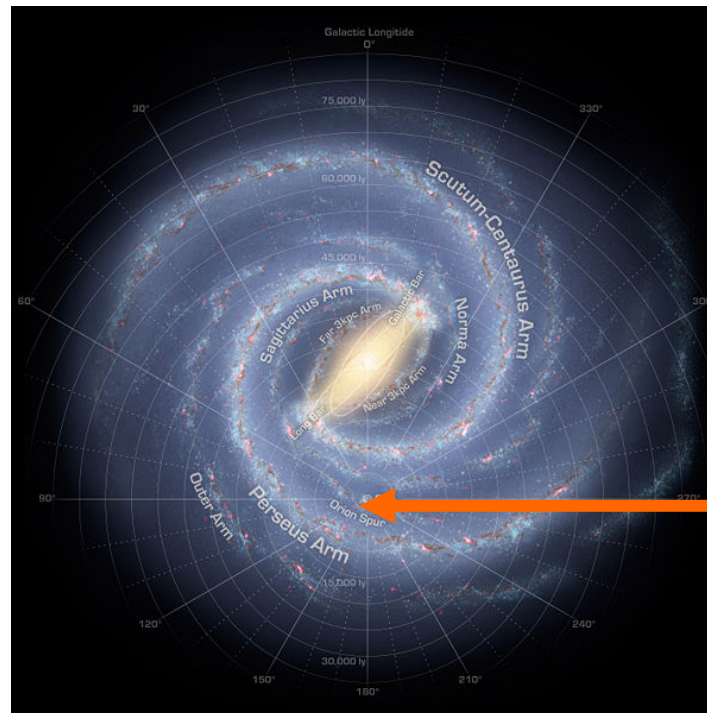
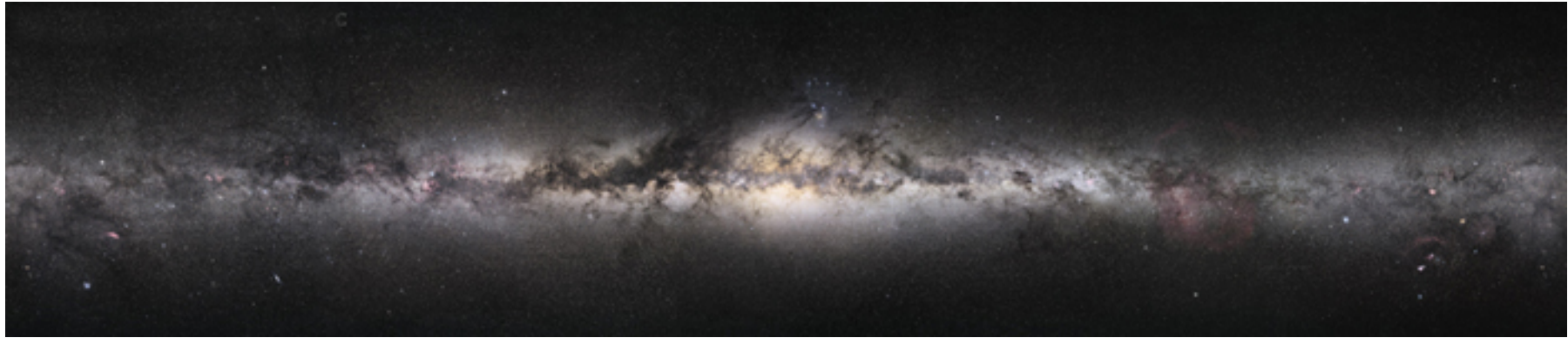


La voie lactée

La voie lactée



La voie lactée



nous sommes ici

La voie lactée

- ~100 milliard d'étoiles: bulbe, disque et halo



- diamètre: ~30 kpc
- Vitesse de rotation ~200 km/s
- Matière interstellaire: plusieurs milliards de masses solaires
- Masse sombre

Les amas stellaires

Amas globulaire – M13

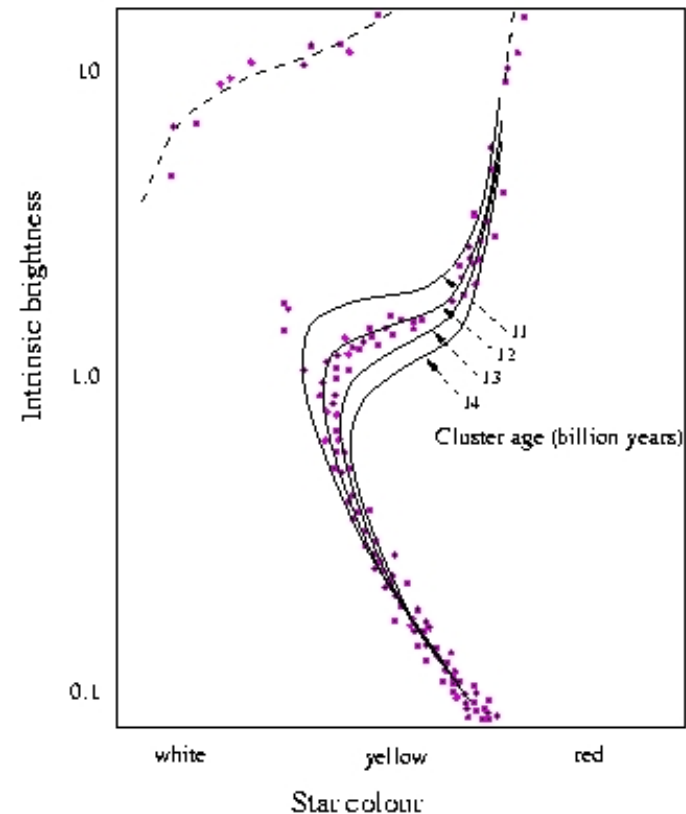
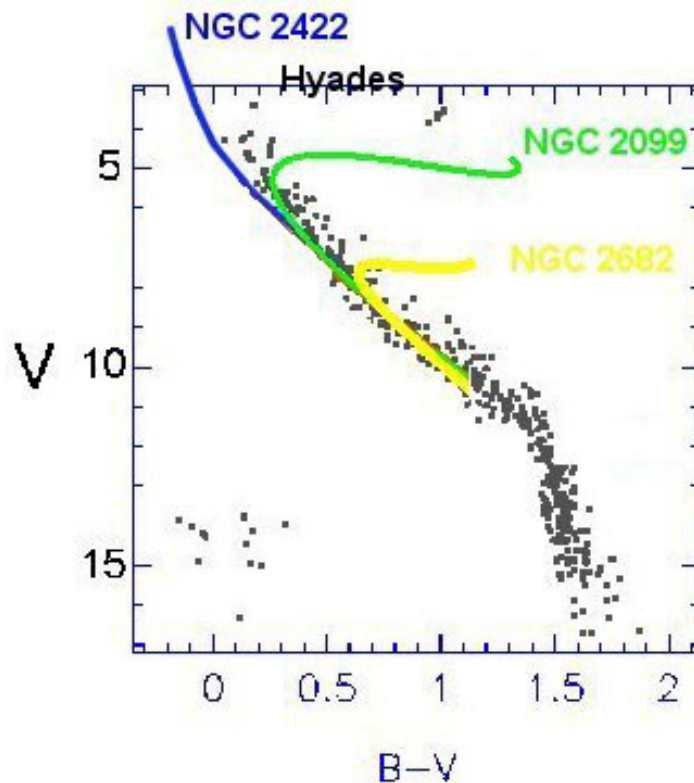


amas ouvert – M35

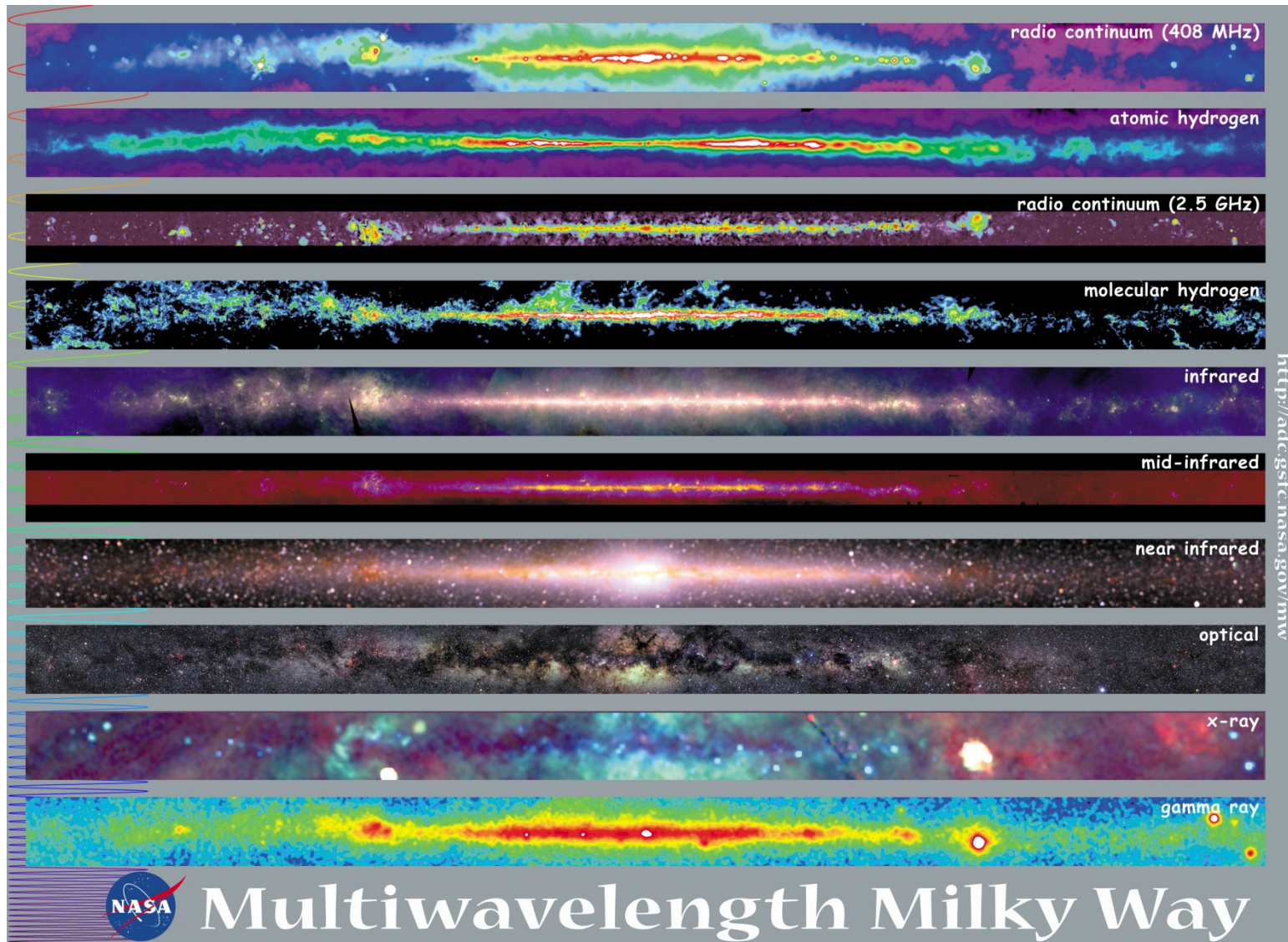


Le diagramme de Hertzsprung-Russel des amas globulaires

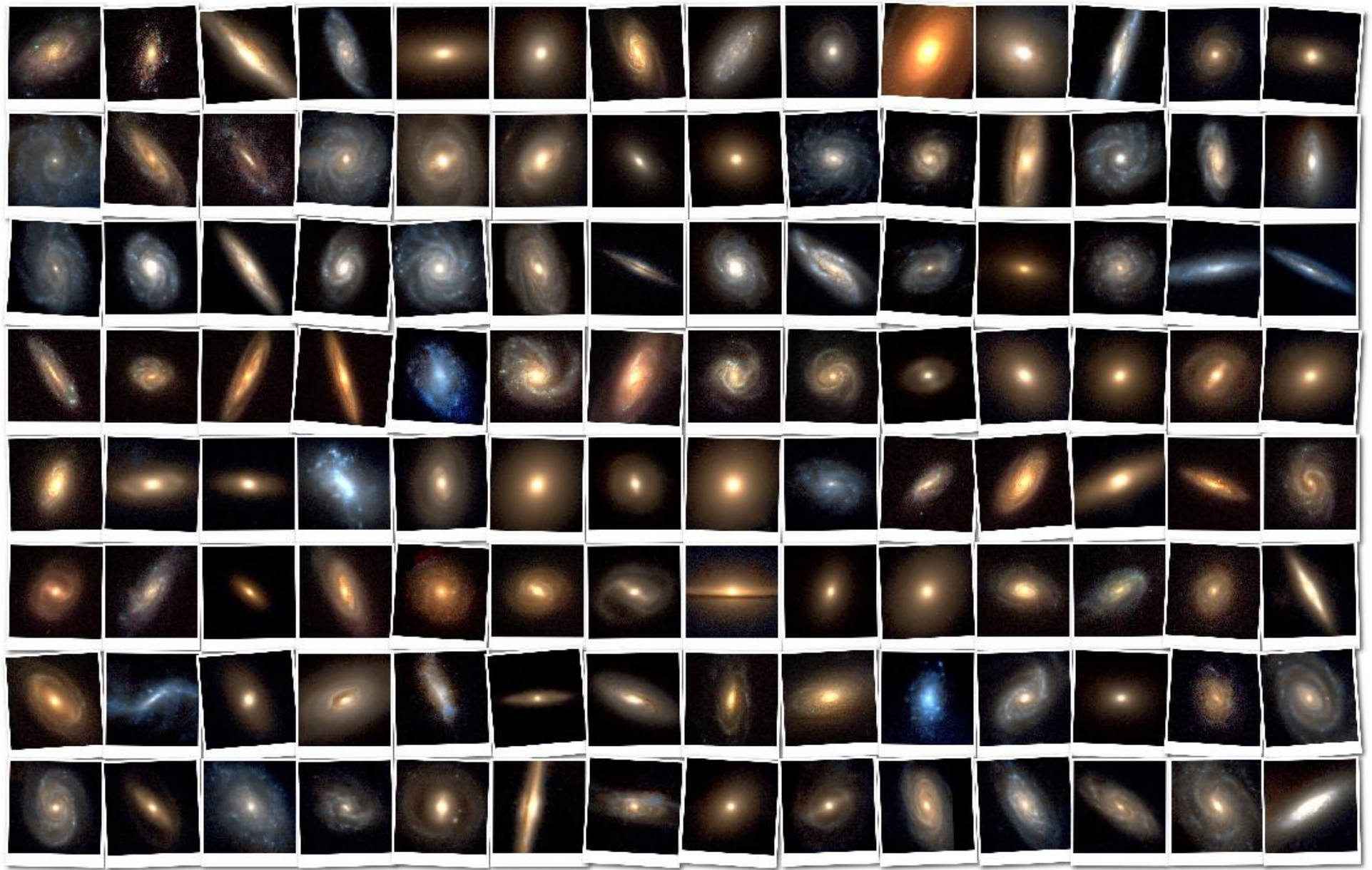
- Toutes les étoiles ont été créées en même temps
- Le départ des populations de la séquence principale marque l'âge de l'amas



La voie lactée

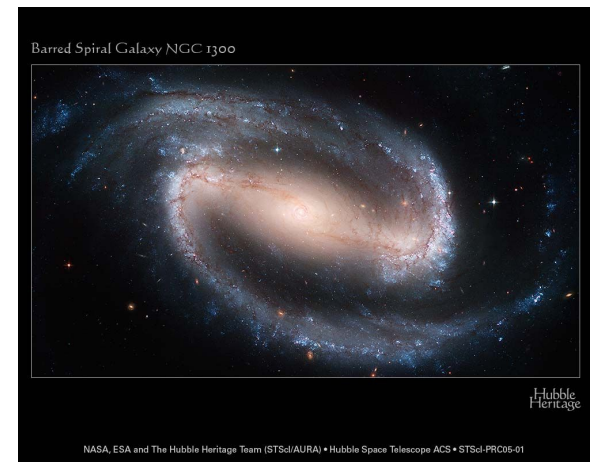
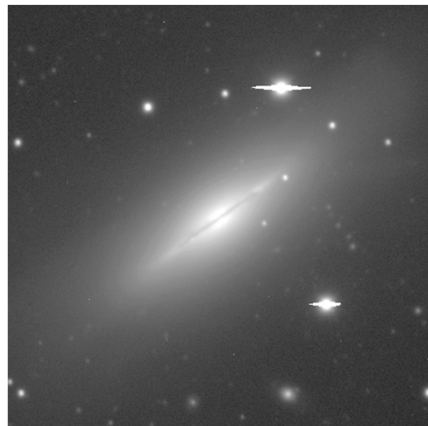
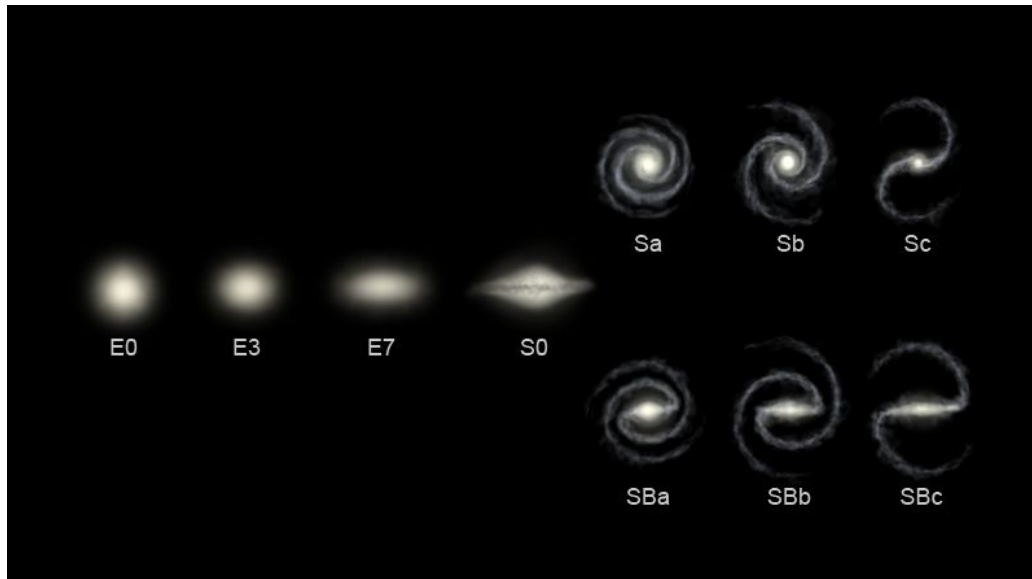


Les galaxies



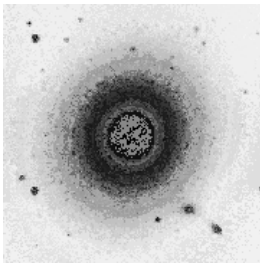
© Zolt Frei, Princeton University

La séquence de Hubble



La classification des galaxies

- Elliptiques, lenticulaires, spirales



- Spirales barrées ou non-barrées
- Dans la classe de spirales: Sa -> Sd
grand bulbe -> petit bulbe
plus rouge -> plus bleu
moins de gaz -> plus de gaz
bras spiraux moins ouverts -> plus ouverts

La dynamique de galaxies

- Observations du gaz interstellaire: raies en optique ($H\alpha$) ou en radio (mm: CO, cm: HI)
- Effet Doppler

Exemple: M63

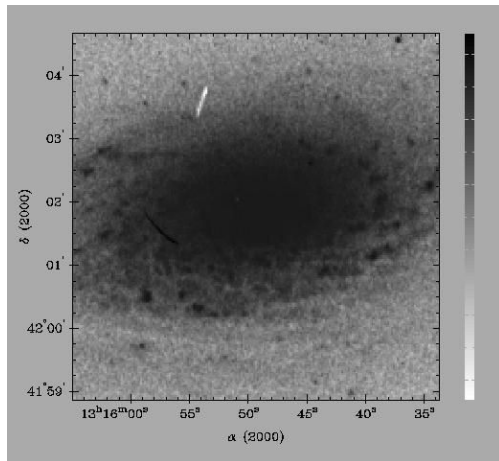


Image optique en B

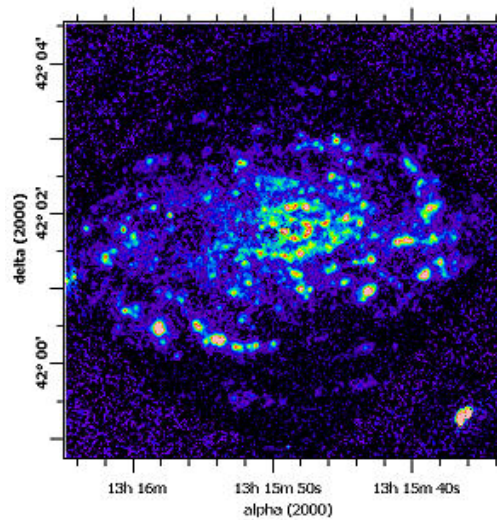
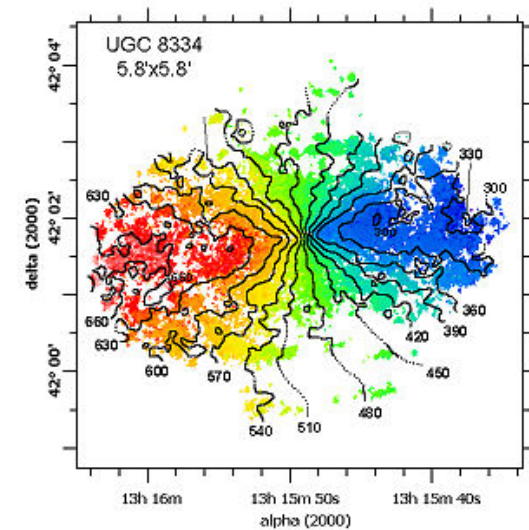


image $H\alpha$



champ de vitesses $H\alpha$

Le gaz neutre dans les galaxies spirales

Gris: image optique en B; contours: hydrogène neutre (HI)

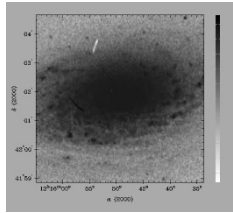


Image optique en B

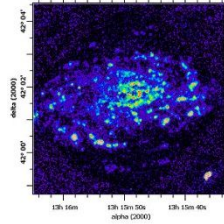
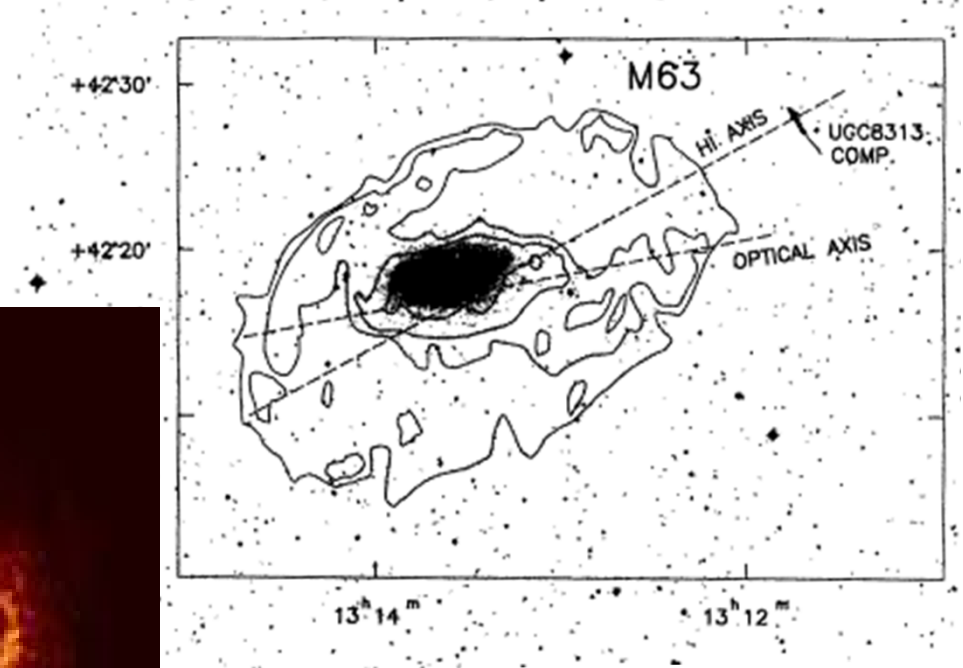


Image H α



NGC 6946

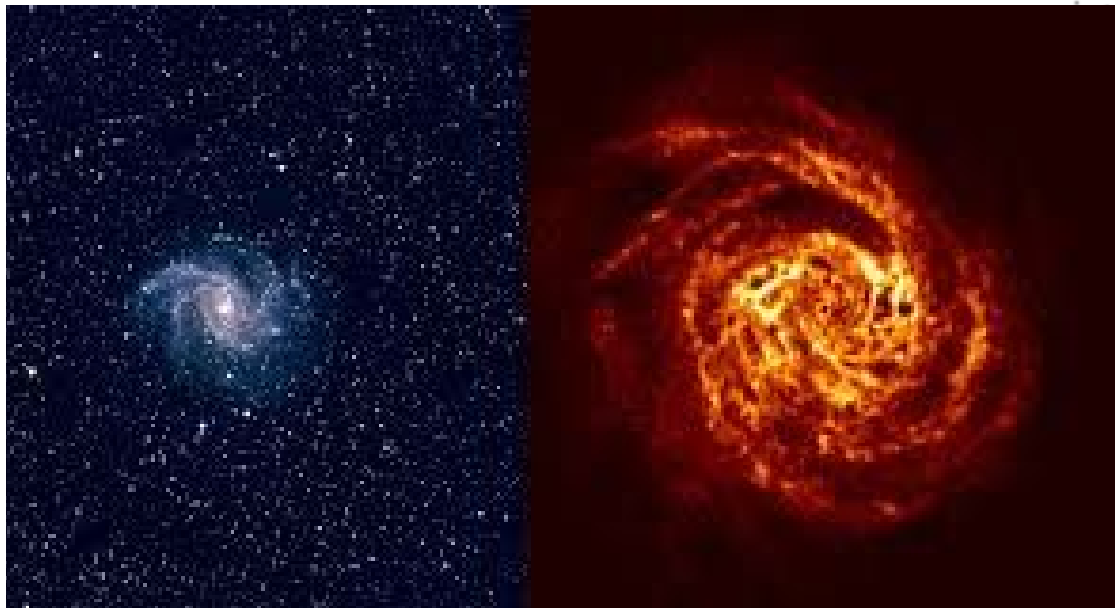


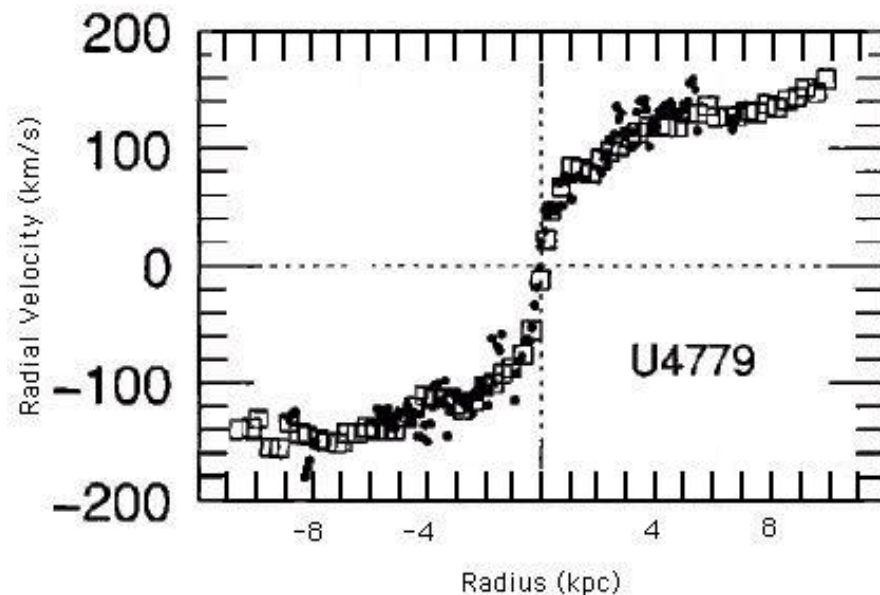
Image optique

Image HI

-> disque HI 2-3 fois plus grand que le disque optique (les étoiles)

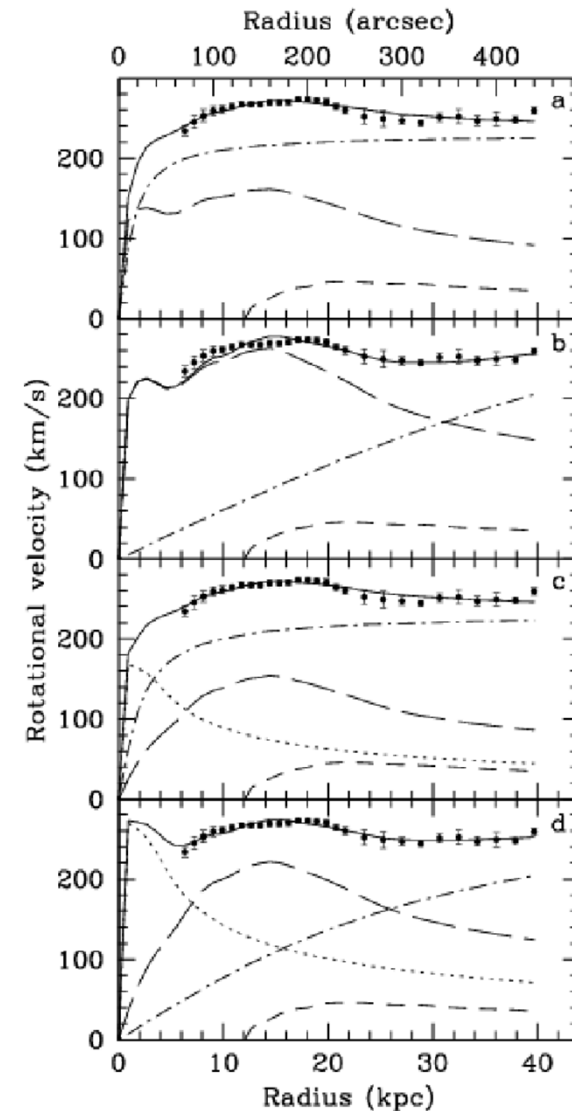
La courbe de rotation

- Extraction des vitesses radiales en fonction du rayon galactique
- Correction pour l'angle d'inclinaison du disque galactique par rapport au plan de l'image



Décomposition de la courbe de rotation

- $mMv^2/R = mMG/R^2 \rightarrow v^2 = MG/R$
m: masse d'une étoile, M: masse incluse dans le rayon R, v: vitesse de rotation, G: constante de la gravitation, R: rayon galactique
- Composantes de M: bulbe (...), disque (- - -), gaz (- - - - -), matière sombre (— · — · — ·)



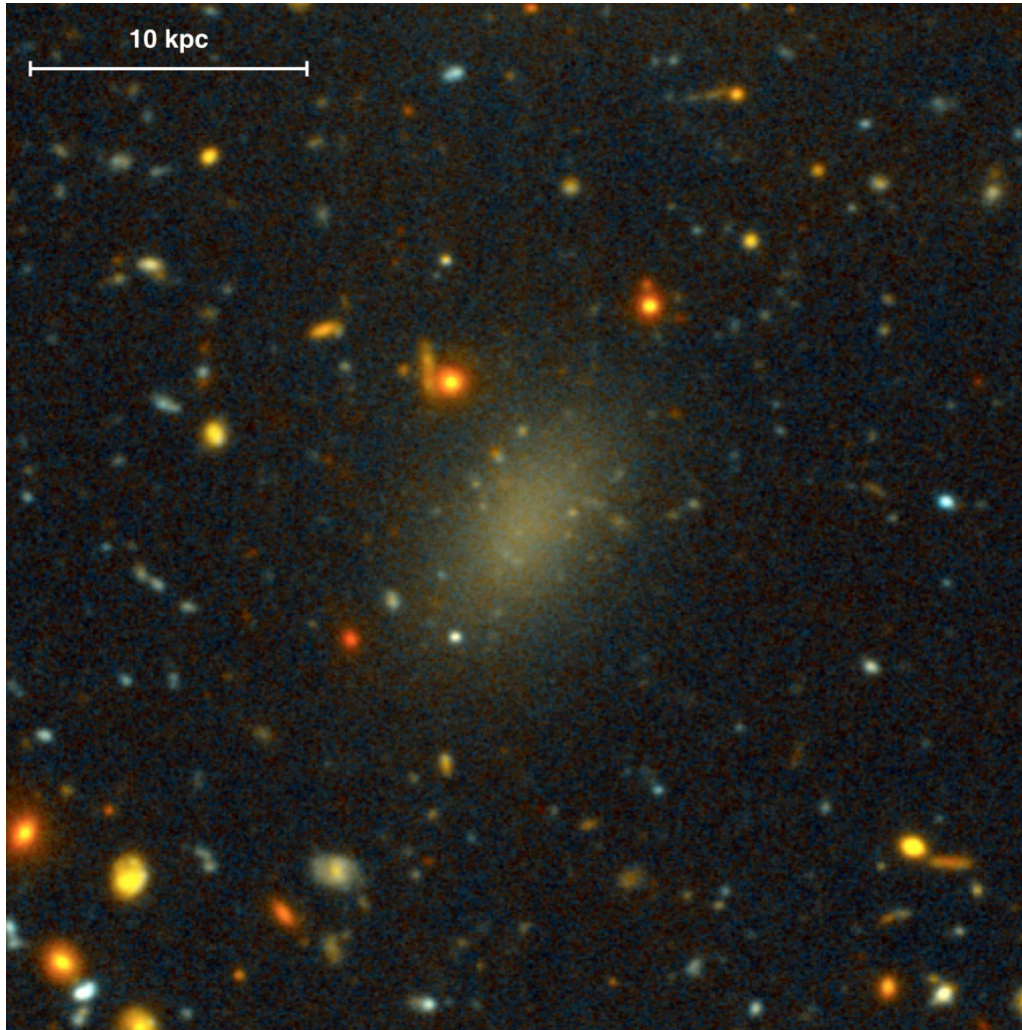
La masse sombre

- Possibilité de convertir la luminosité en masse
- Plusieurs choix possibles

⇒ On se rend compte que la masse déterminée par le biais de la rotation est plus grande que la « masse lumineuse »

⇒ Besoin d'une masse non-observée: masse sombre

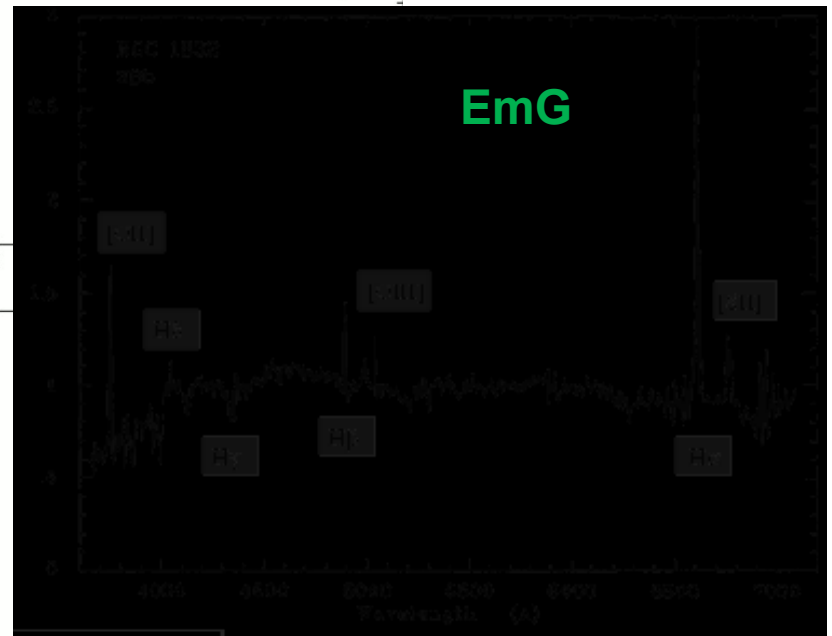
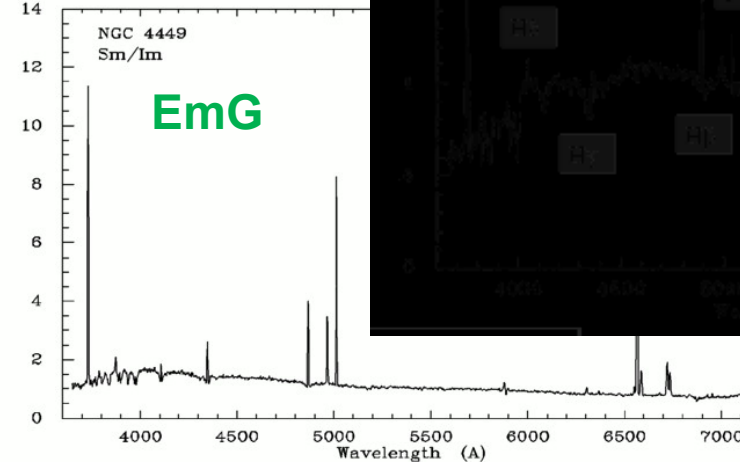
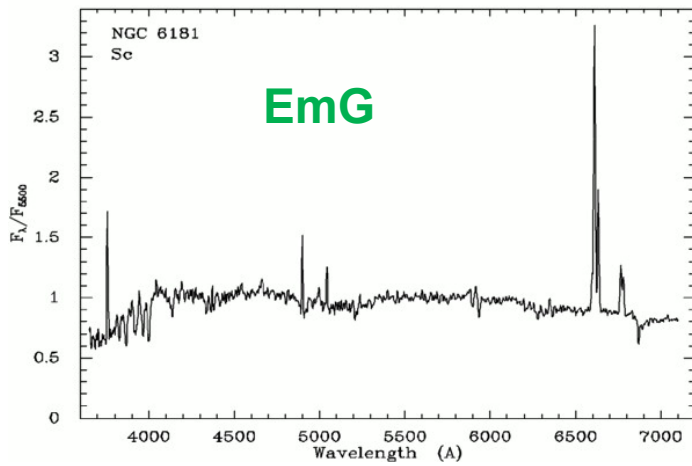
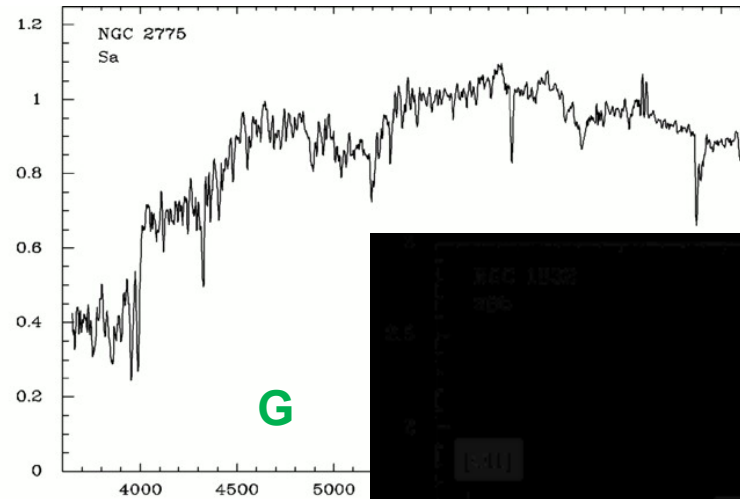
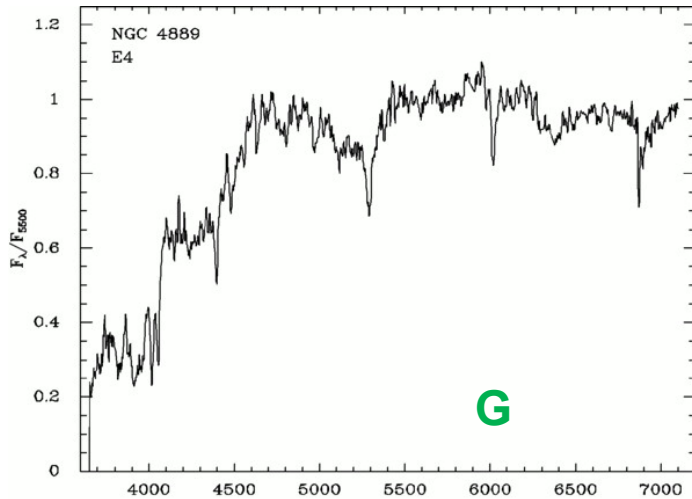
Low surface brightness galaxy



LSB

Dragonfly 44 = [\[VAM2015\]](#) DF44

Spectres



Starburst galaxies

M82
SBG
EmG
H2G



jaune/vert: optique -> étoiles
orange: $H\alpha$ -> gaz ionisé à 10000 K
rouge: IR -> poussière
bleu: rayons X -> gaz ionisé très chaud

Blue compact galaxies

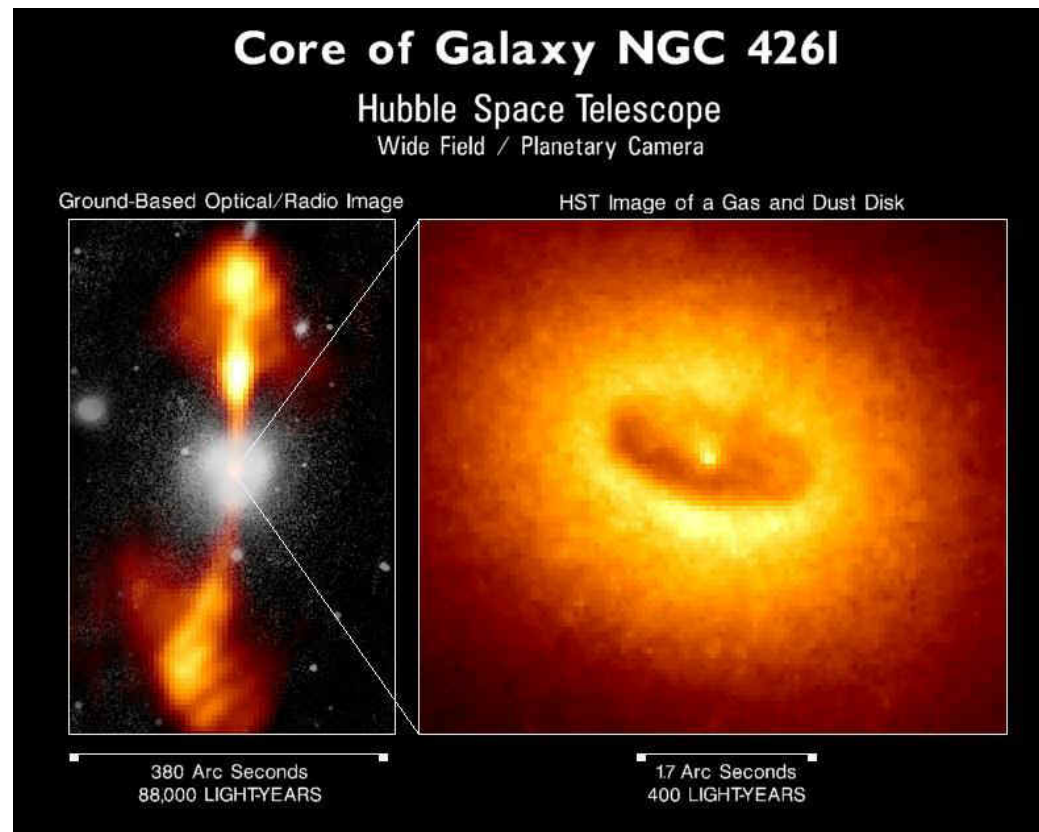
- $\sim 1/10$ de la taille de la Voie Lactée
- contiennent des amas stellaires avec des étoiles très massives
- jeune starburst compact
- peu de poussière et éléments lourds



BCG
EmG
H2G

Les galaxies à noyaux actif (AGN)

- Galaxie dont le noyaux est plus brillant que le disque d'étoiles
- Source d'énergie: gravitation (trou noir, **BH**)



Luminosité

$L > 10^{45}$ erg/s

⇒ Quasar (**QSO**)

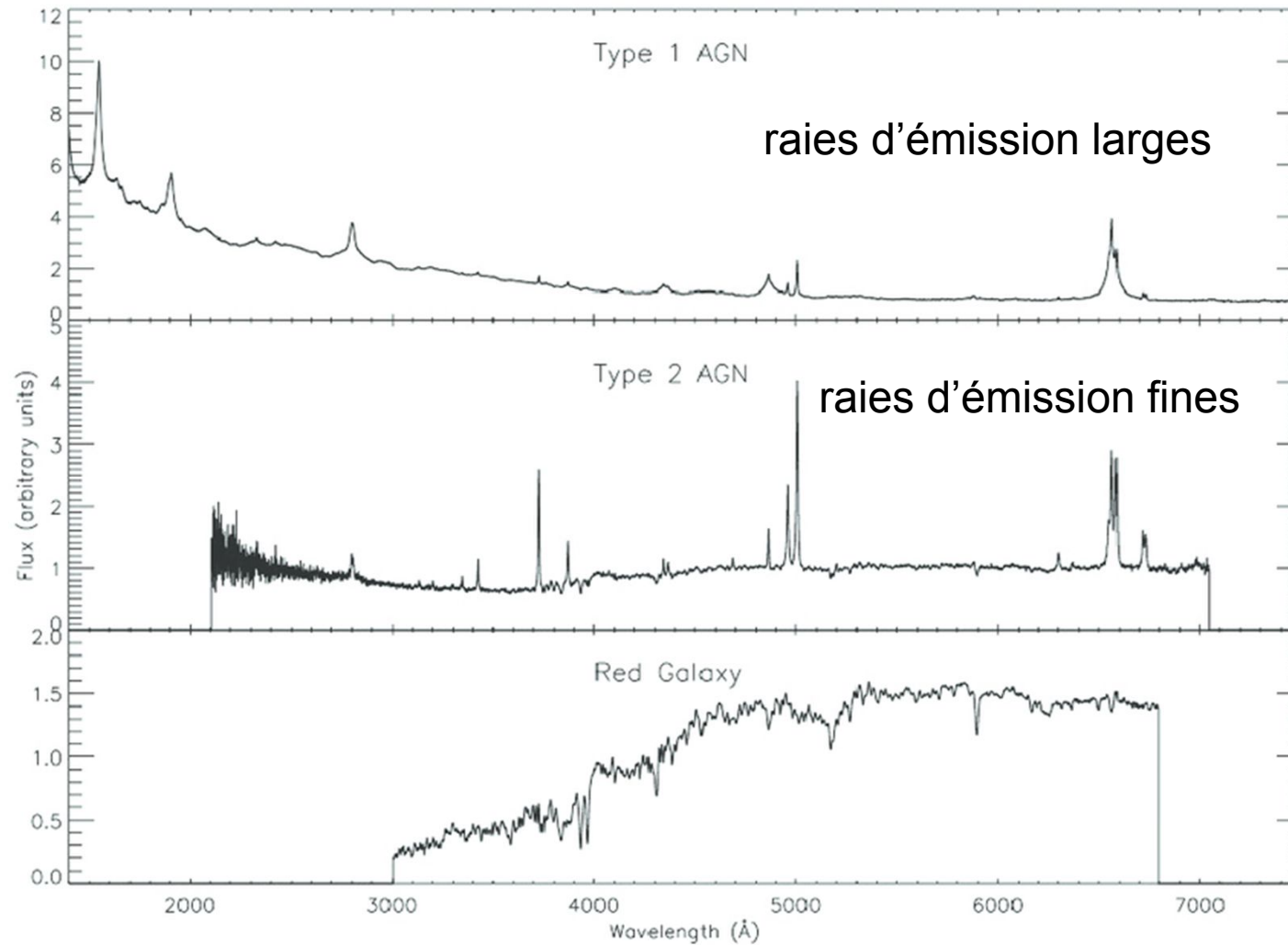
$L > 10^{42}$ erg/s

⇒ LINER (**LIN**)

Local AGN (spirals)

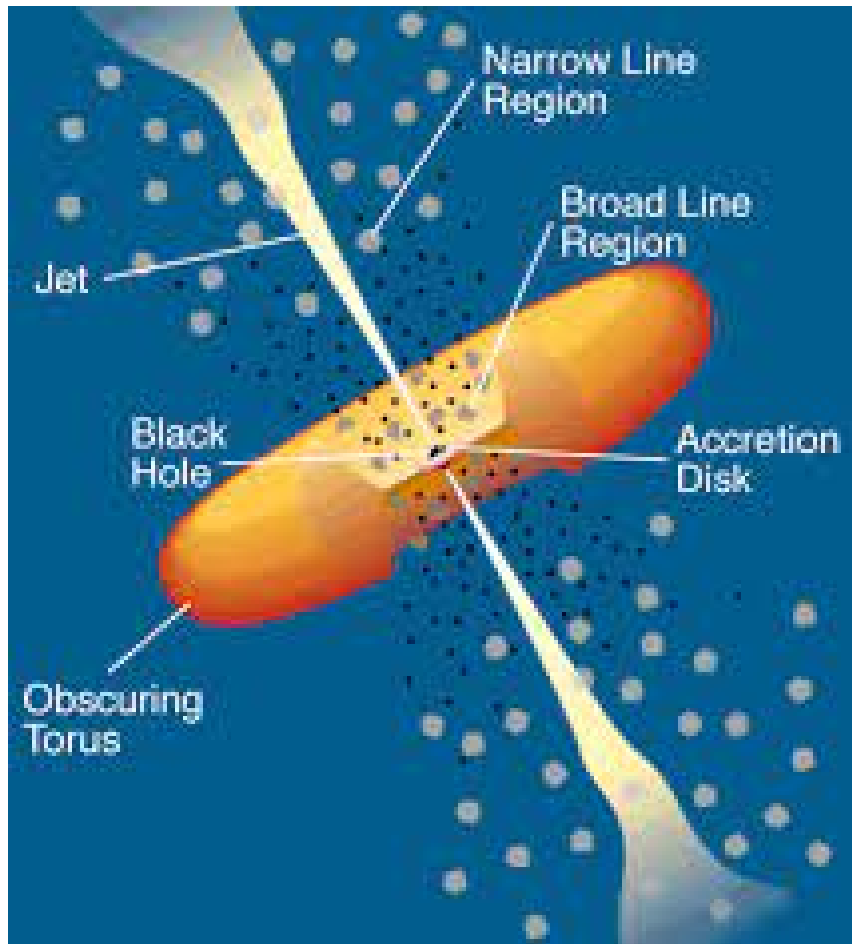
⇒ Seyfert (**SyG**)

AGN spectra

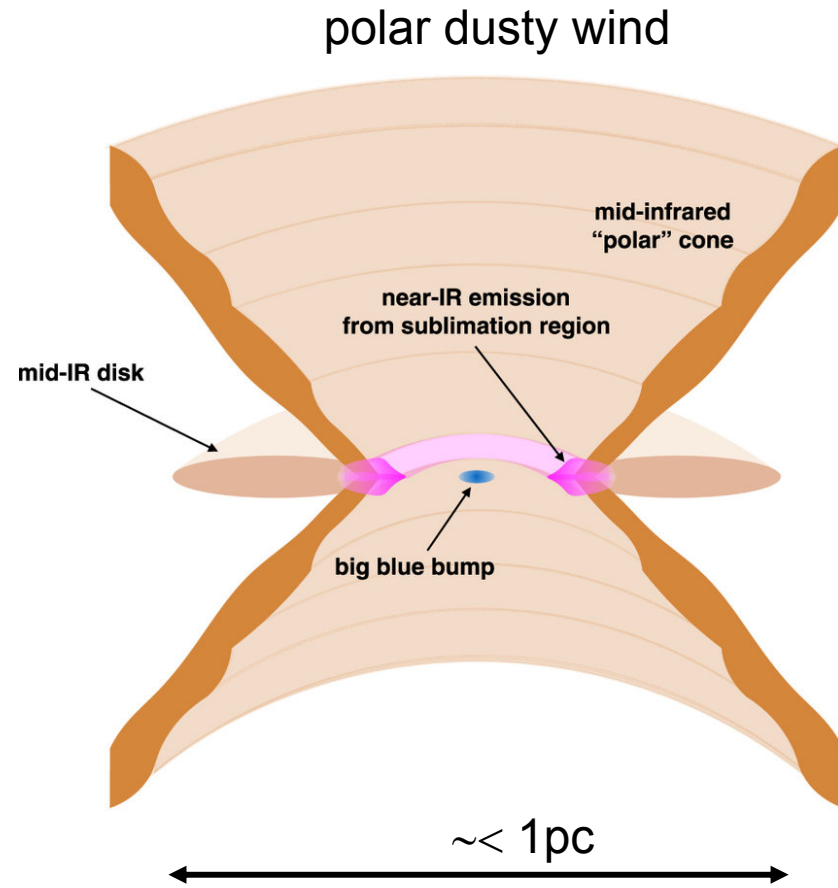


AGN

type 1: face-on; type 2: edge-on



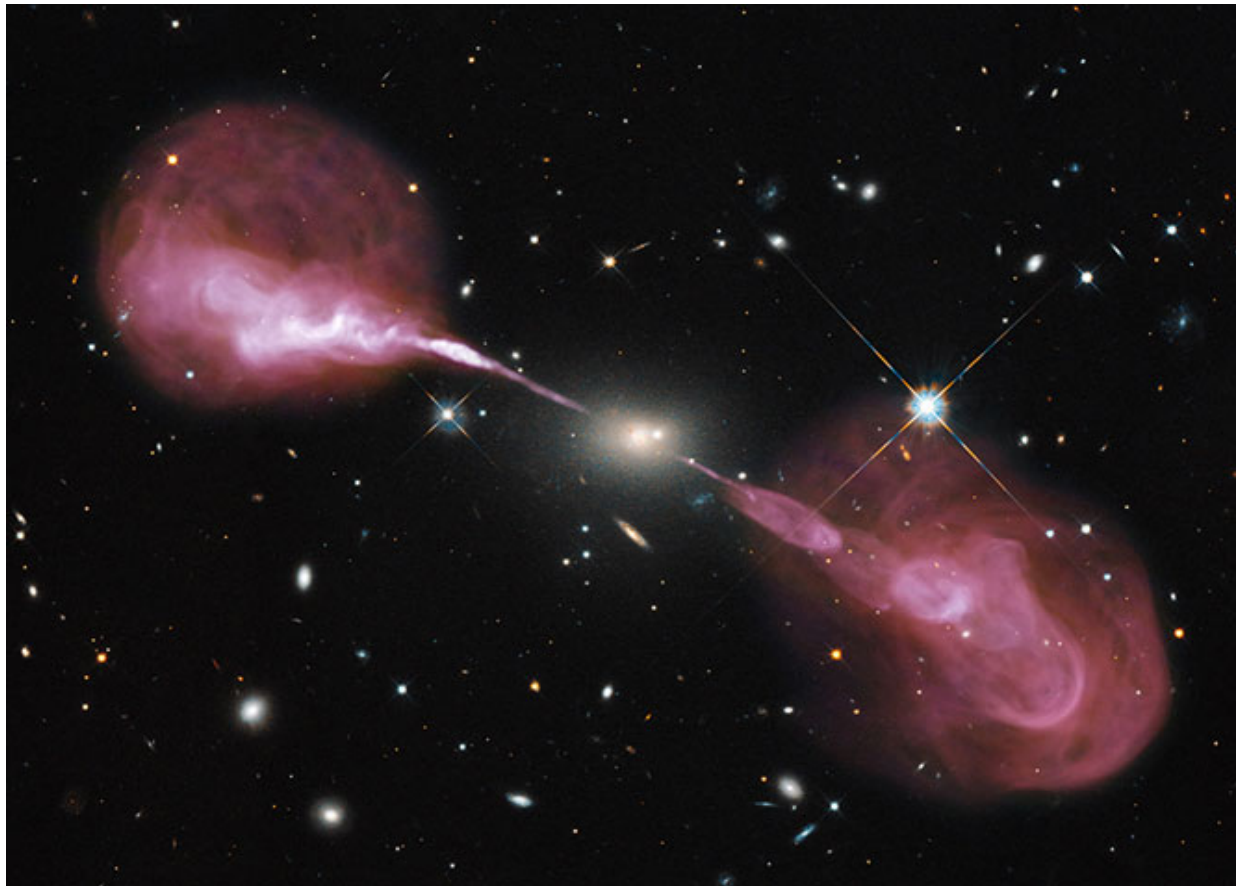
Urry & Padovani (1995)



Hoenig et al. (2019)

Les galaxies radio

= AGN + jet radio (rG)

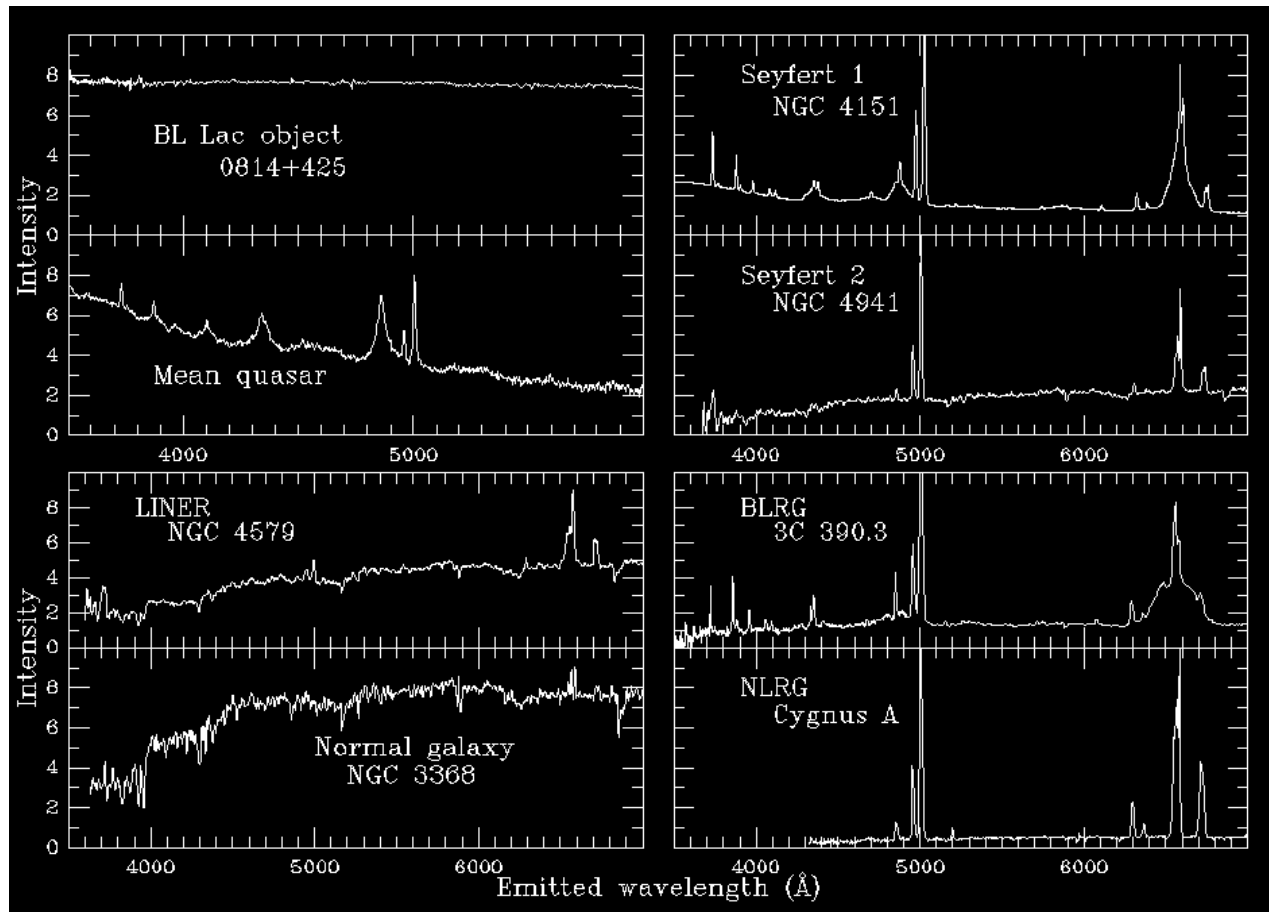


Hercules A

Blazars

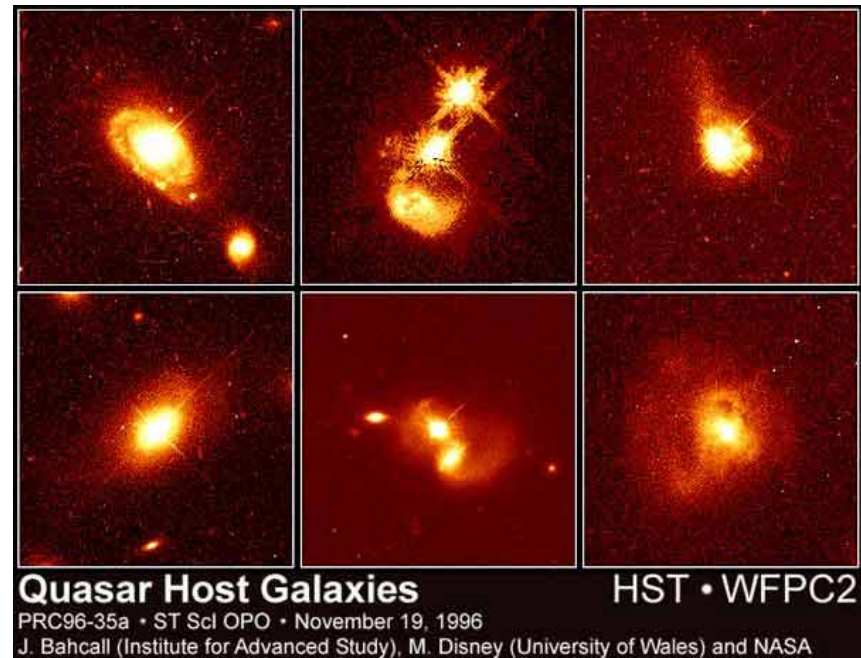
Le jet pointe vers la Terre
objets très variables

Bla; BLL = rG

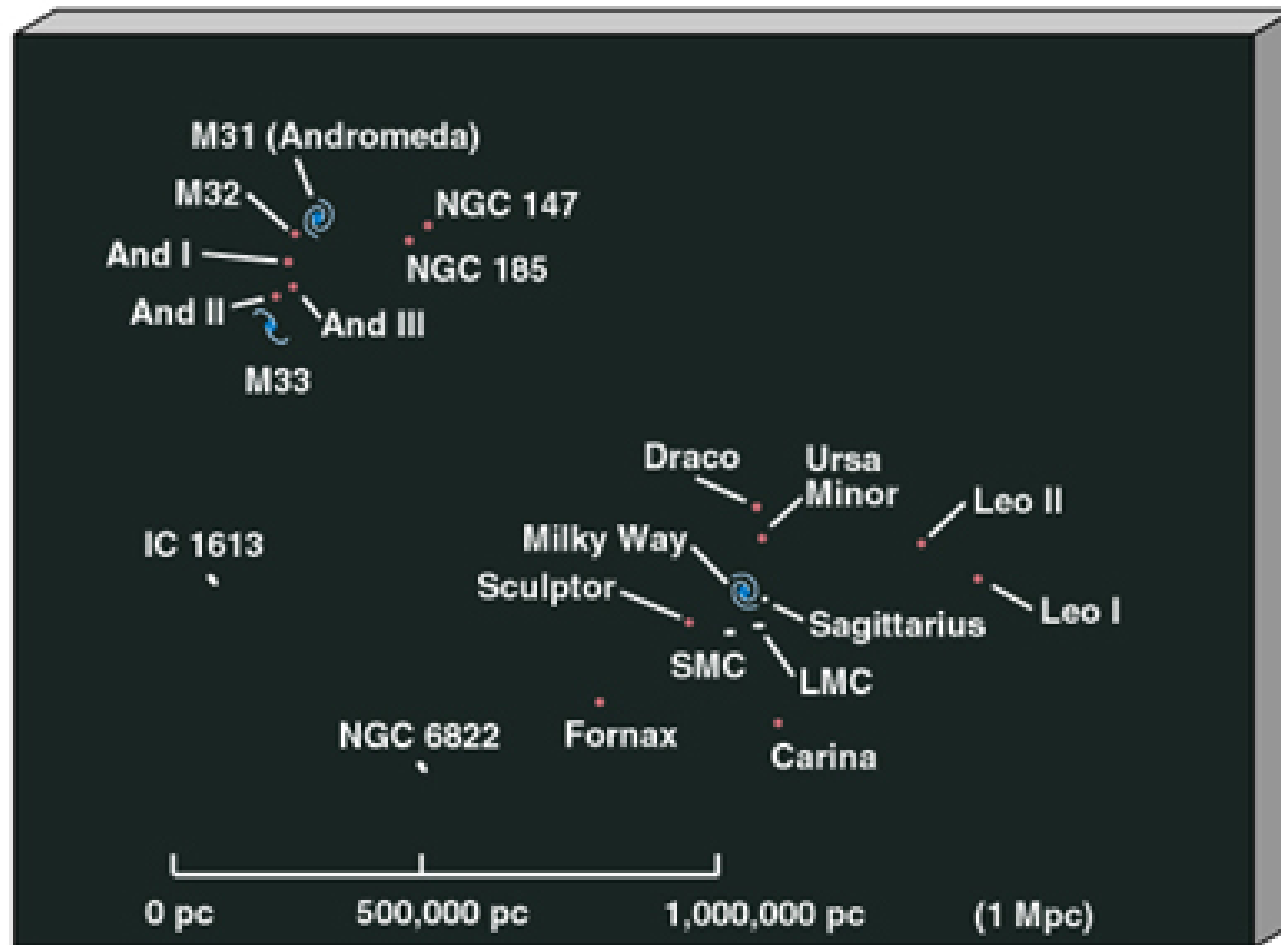


Les quasars

- Objets de petite taille « quasi stellaire »
- Objets très loin (« lumière du bord de l'Univers »)
- Classe à part des galaxies actives
- Objets avec les luminosités les plus grandes dans l'Univers connu



Le groupe local



(GrG)

Les groupes compacts

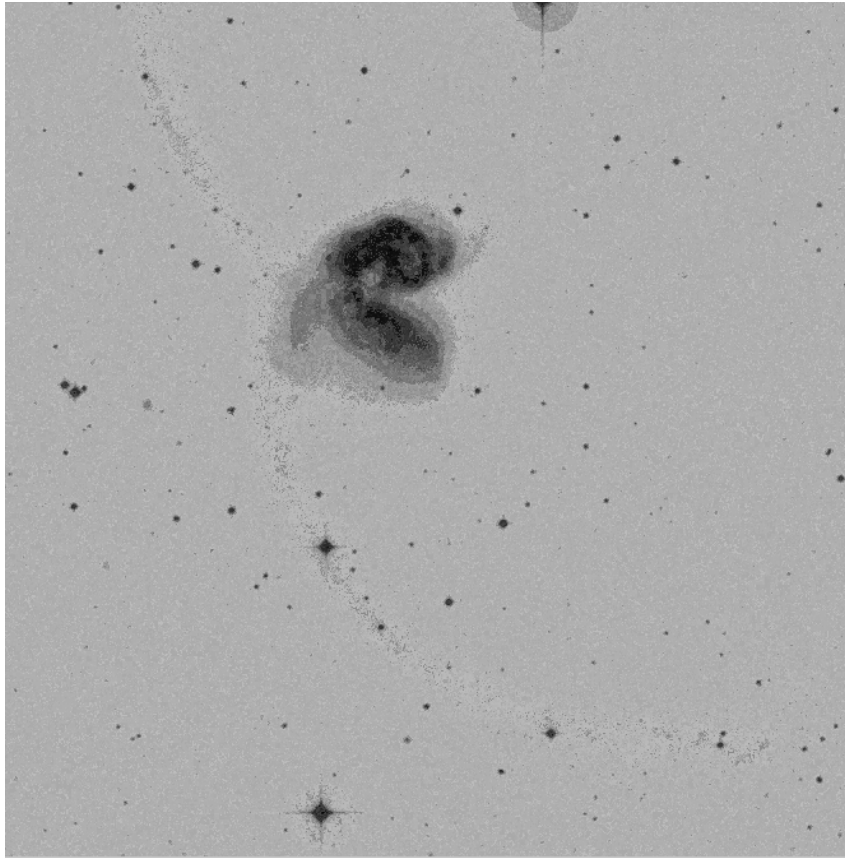


(CGG)

JamesWebb
Telescope

Stephan's
Quintett

Les galaxies spirales de groupes en interaction



Les antennes

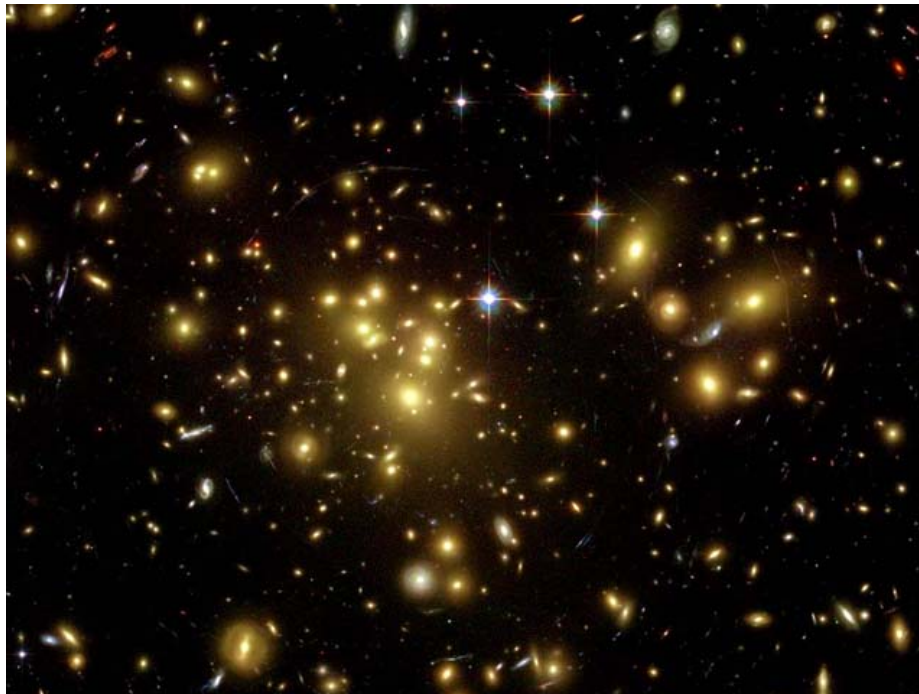


(IG, PaG)

Les souris

Les amas de galaxies

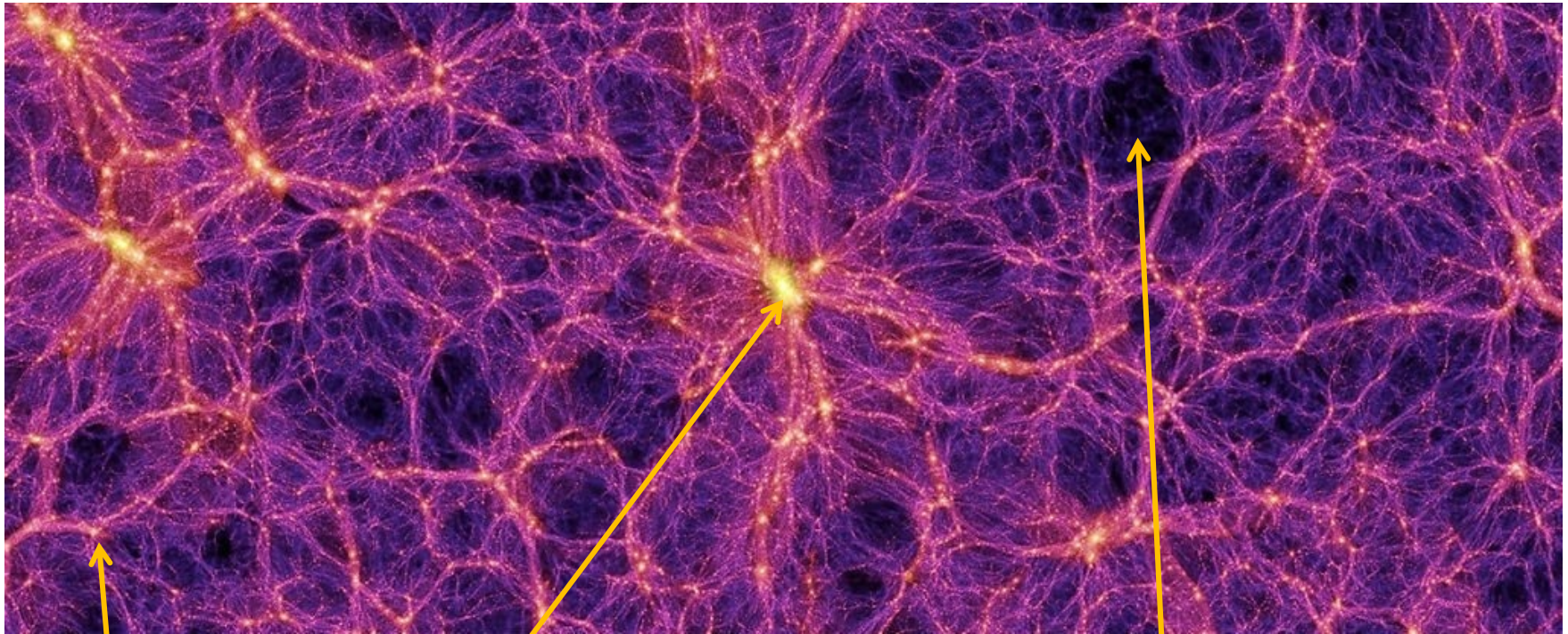
- Dimension: plusieurs Mpc
- Plus de 100 galaxies
- L'amas le plus proche dans l'hémisphère nord: l'amas de la Vierge (distance: 17 Mpc)



Abell 1689

(CIG)

Les grandes structures



GrG

CIG

vid

Les systèmes de lentille



JWST: SMACS 0723.3-7327 (**gLS, gLe=CIG, LeI, LeG, LeQ**)