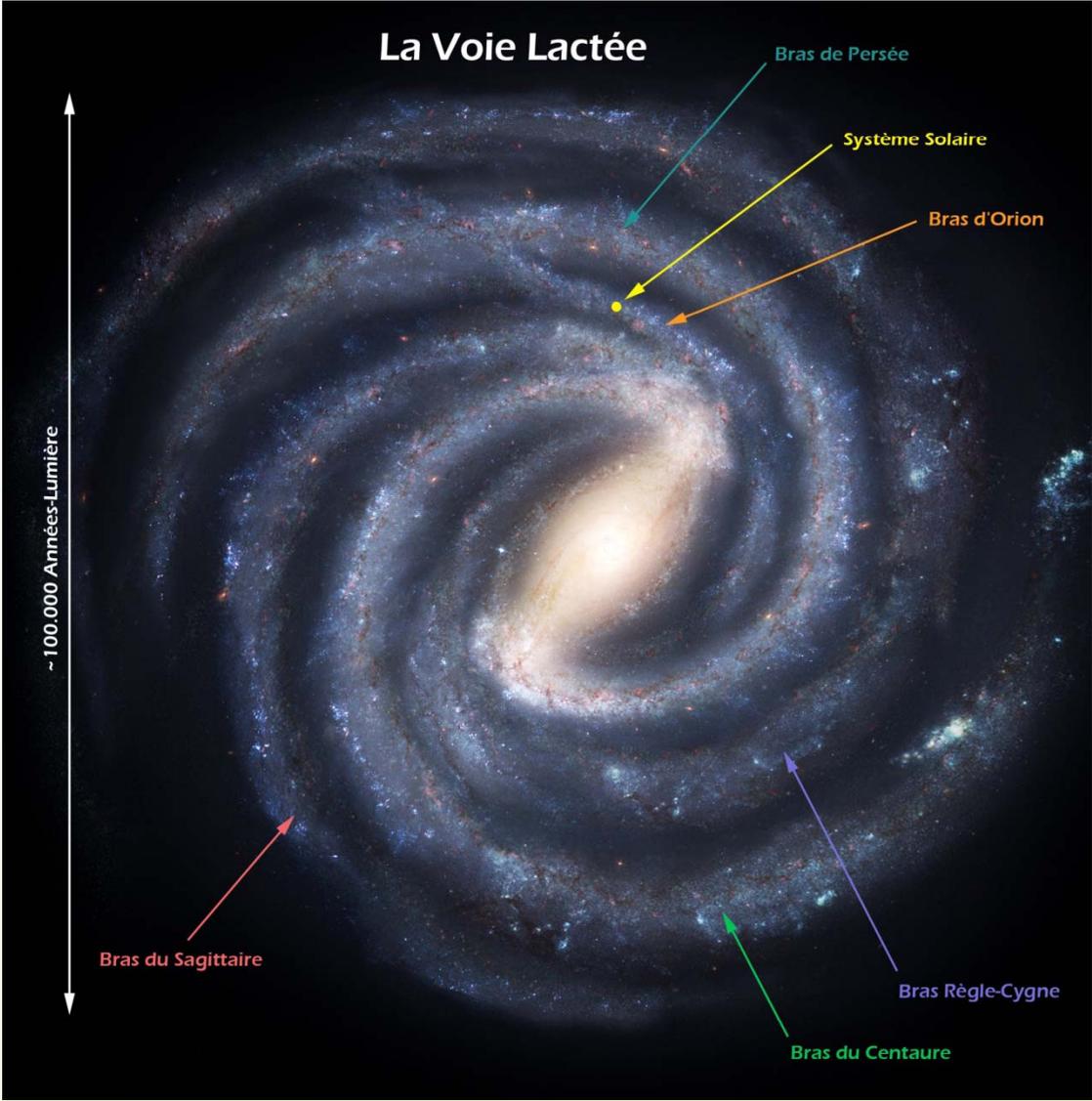


Histoire de la Voie lactée dans l'Expansion de l'Univers



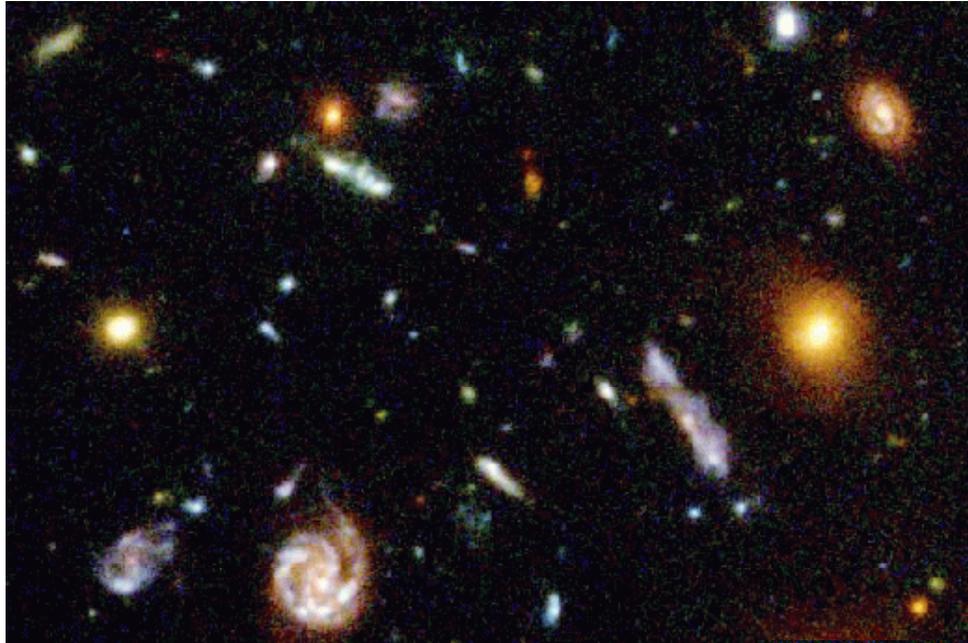
Françoise Combes
Observatoire de Paris
25 Mars 2014

Notre galaxie: la Voie Lactée





Galaxies dans l'Univers jeune



Voir plus loin, et remonter dans le temps

Aujourd'hui jusqu'à $z \sim 6$
(ou 95% de l'âge de l'Univers)

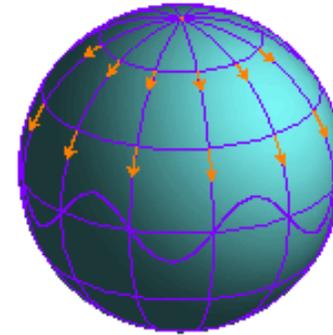
Galaxies plus nombreuses

Formation de plus d'étoiles

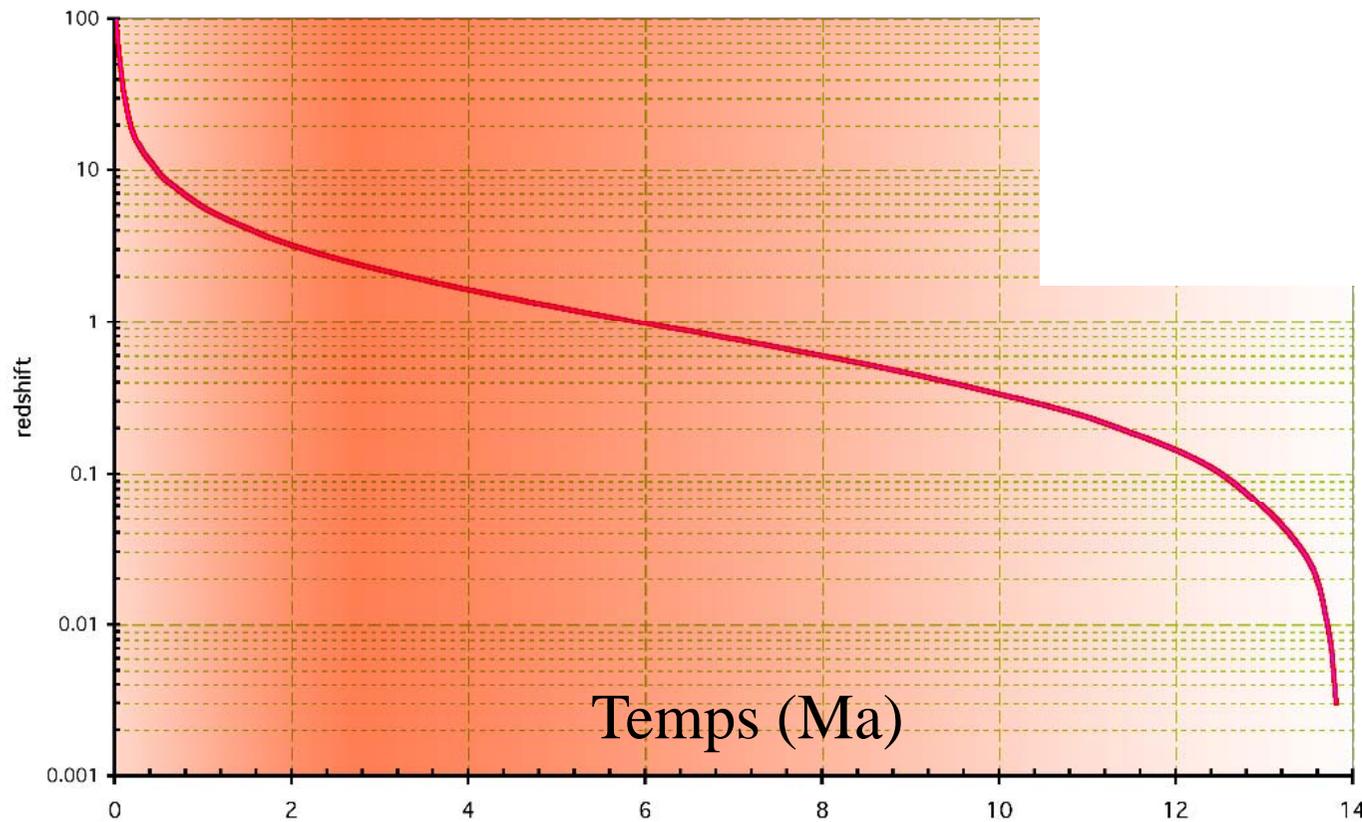
Noyaux plus actifs

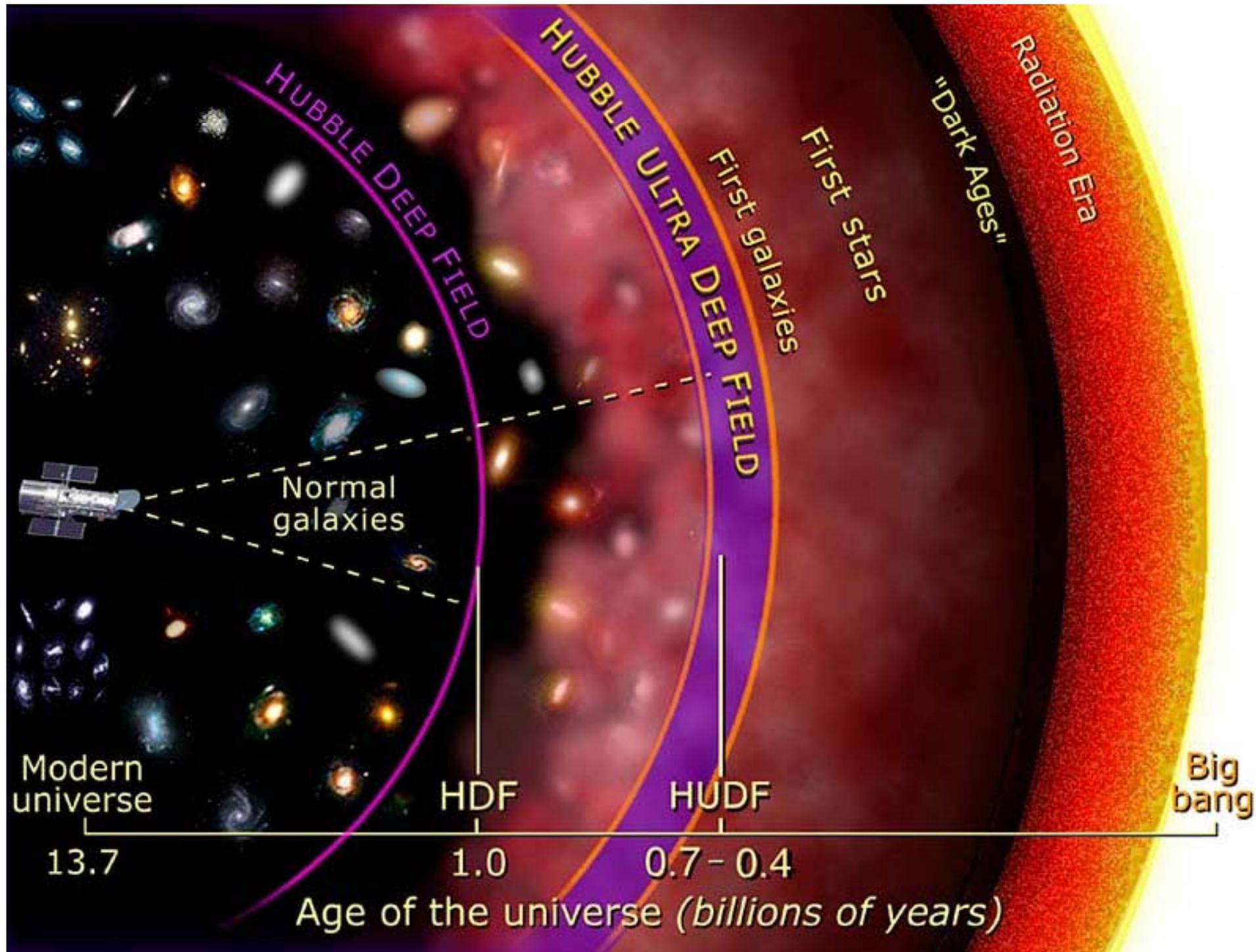


Expansion de l'Univers et décalage vers le rouge



« redshift » $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$





Premières galaxies:

Big-Bang

Recombinaison $3 \cdot 10^5$ an

Age Sombre

Comment se forment-elles?

1^{ères} étoiles, QSO $0.5 \cdot 10^9$ an

Réionisation de l'Univers

Renaissance Cosmique

Faible métallicité,

Fin de l'âge sombre

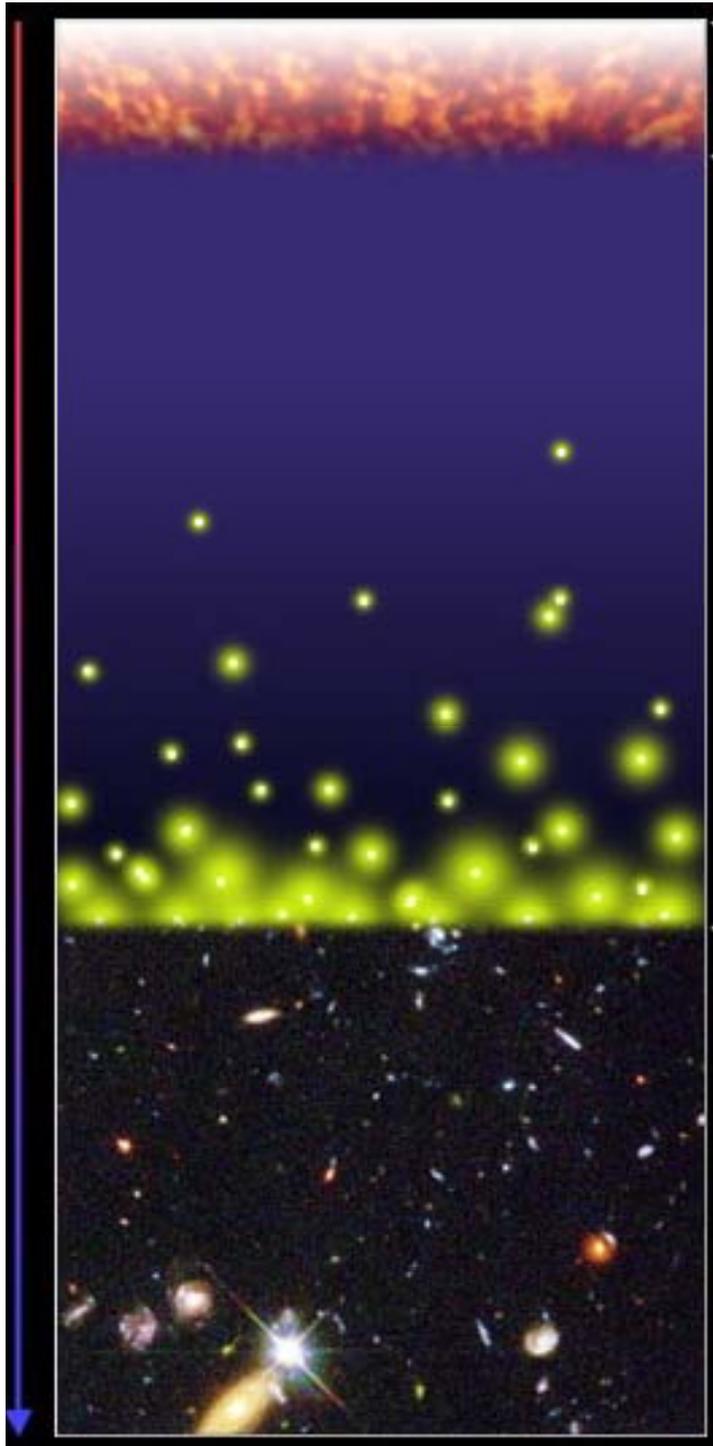
Fin de la reionisation 10^9 an

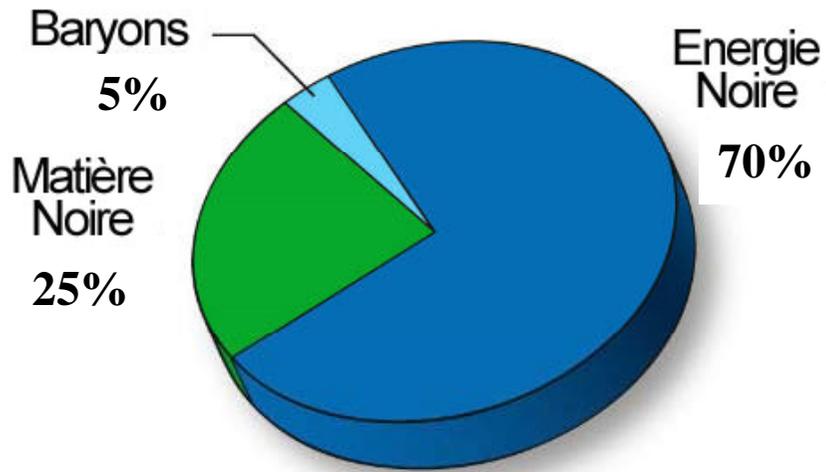
→ Étoiles différentes?

Evolution des Galaxies

Système solaire $9 \cdot 10^9$ an

Aujourd'hui $13.7 \cdot 10^9$ an





Résultats obtenus
grâce au
fond cosmologique
T~3K, vestige du Big-Bang

WMAP+PLANCK

$$\Omega_m = 0.30$$

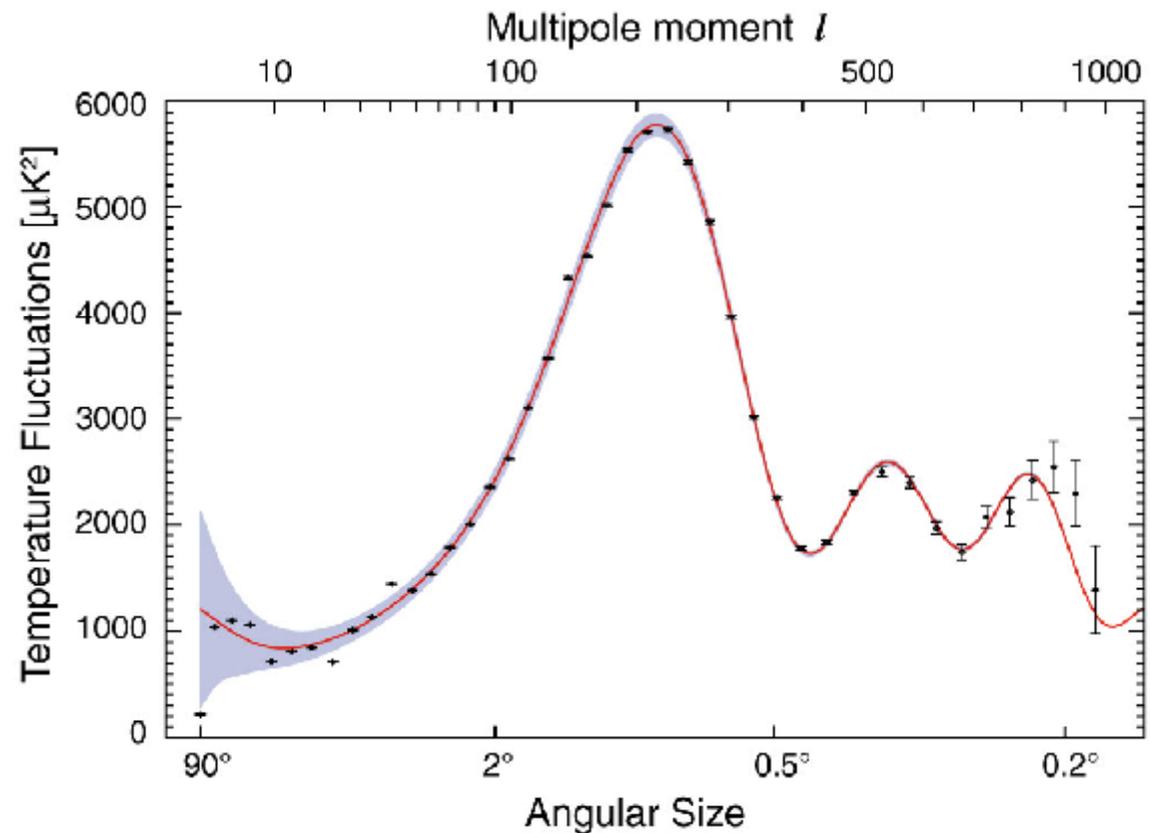
$$\Lambda = 0.70$$

$$\Omega_b = 0.05$$

$$H_0 = 70 \text{ km/s/Mpc}$$

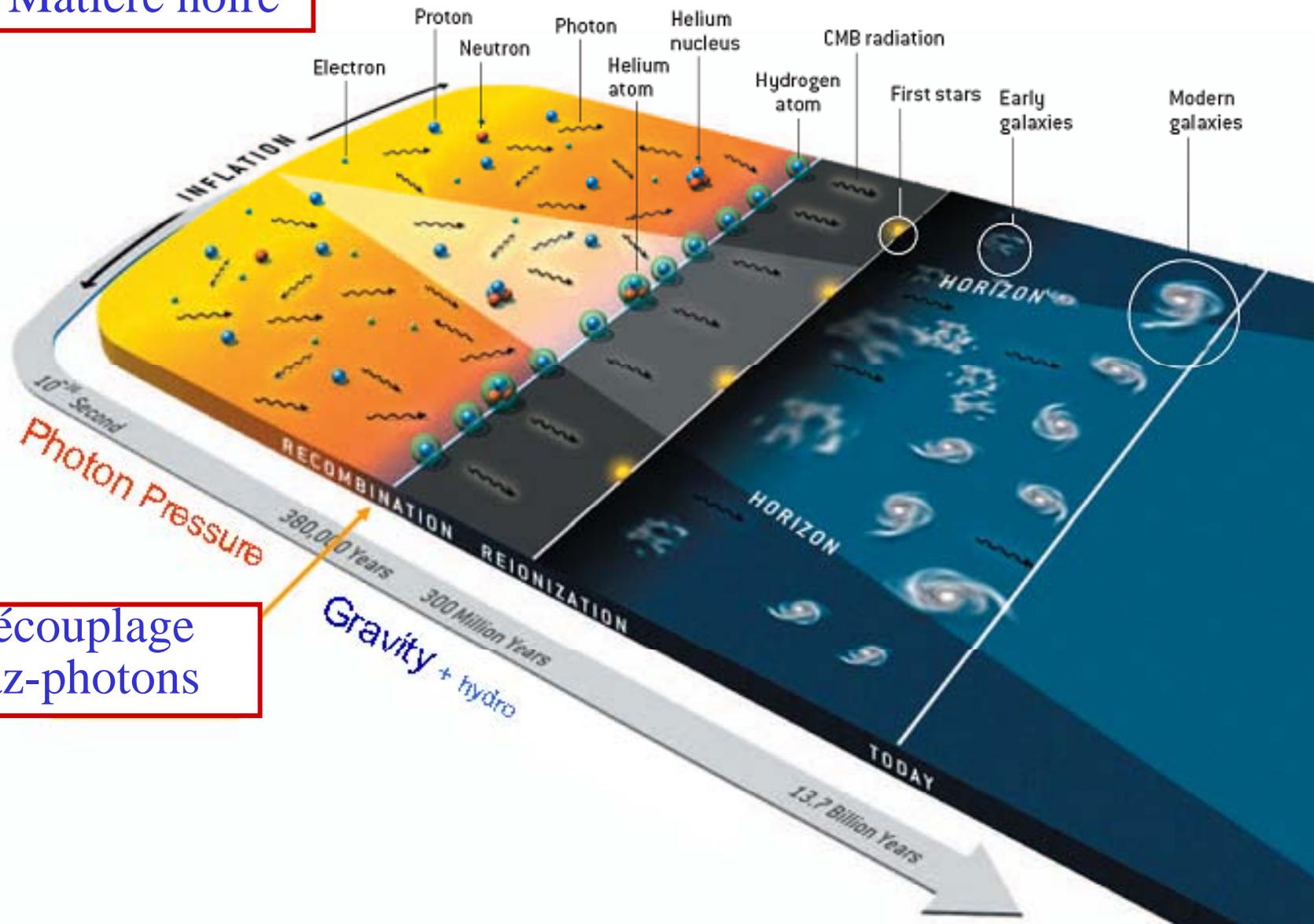
Age = 13.8 Gyr

Univers plat



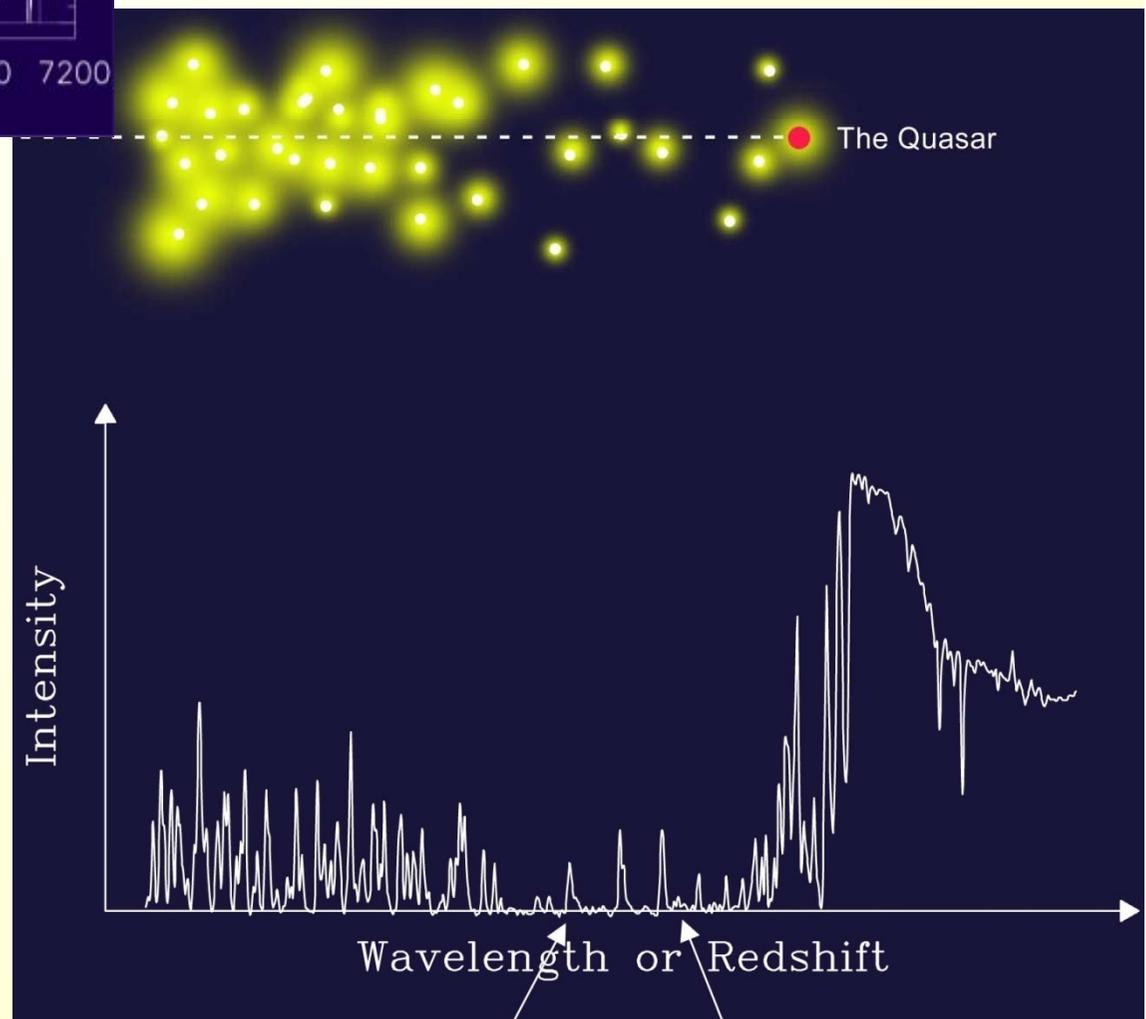
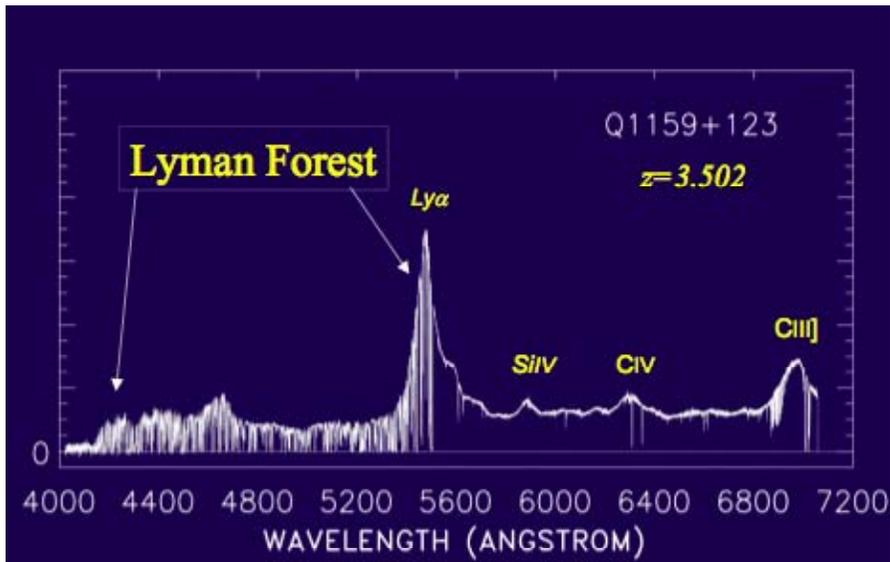
La matière noire s'effondre avant les baryons

Découplage
Matière noire



Découplage
gaz-photons

Mesure de l'âge sombre de l'univers

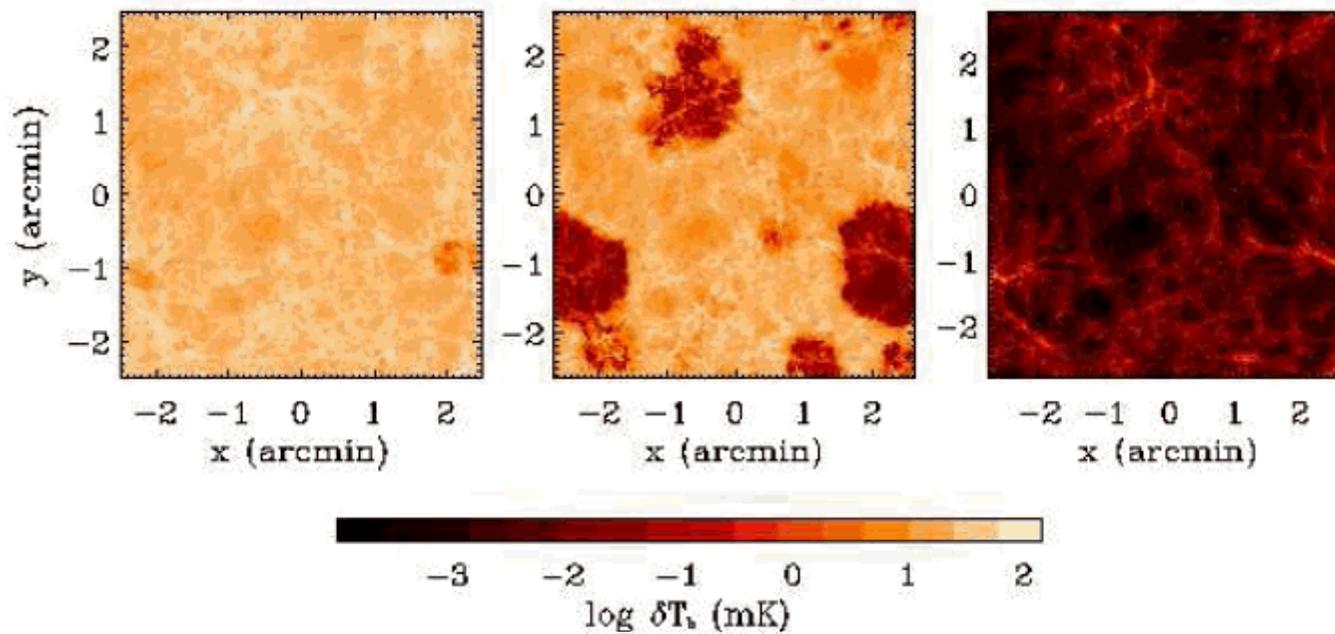
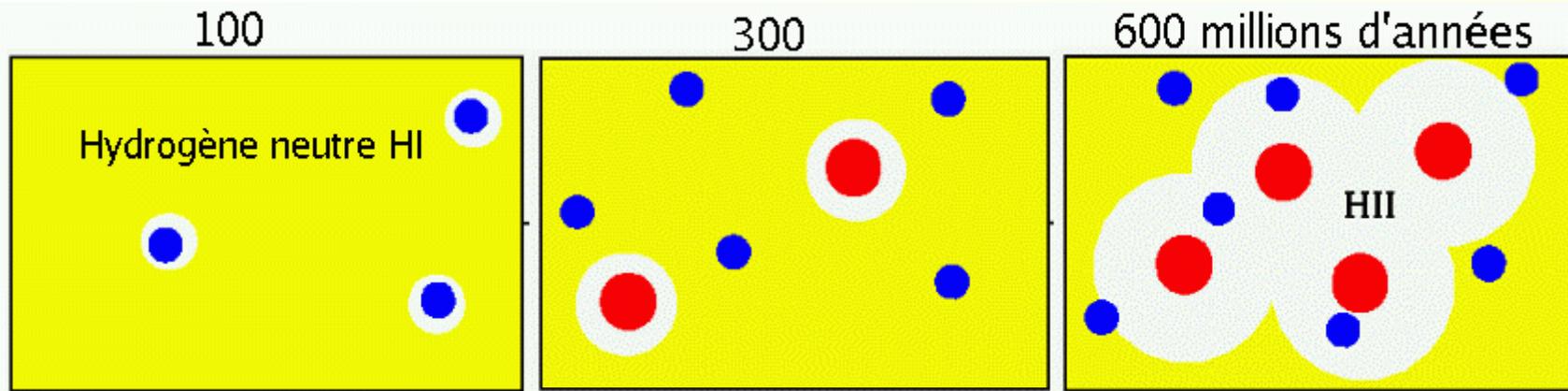


Ligne de visée
devant un quasar

Spectre en absorption
Forêt Lyman-alpha

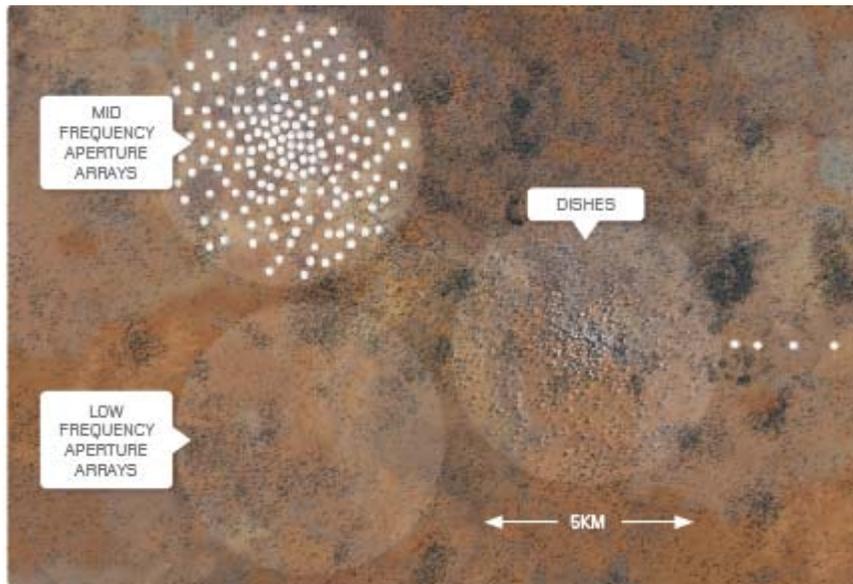
ou absorption
continue totale

Réionisation



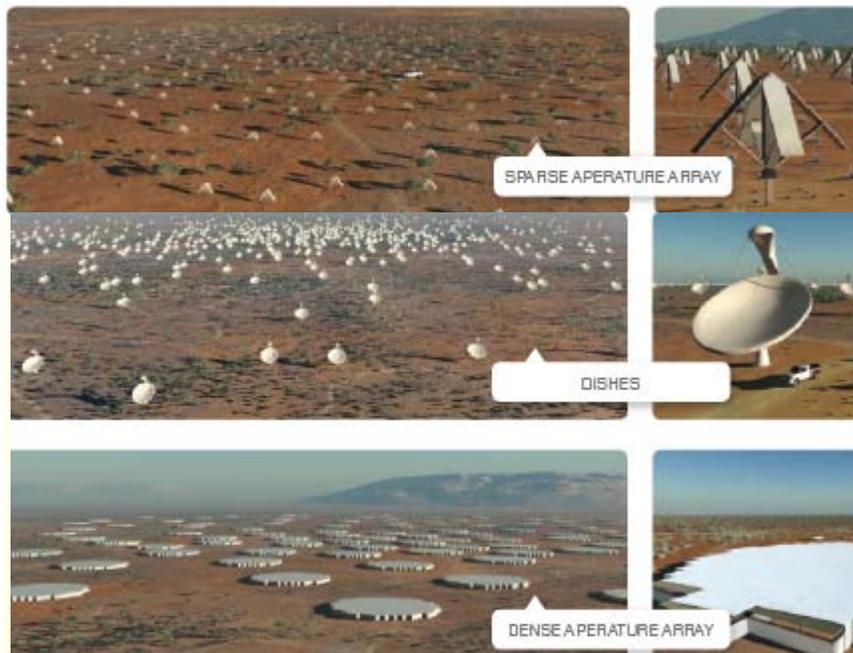
Percolation progressive des zones ionisées

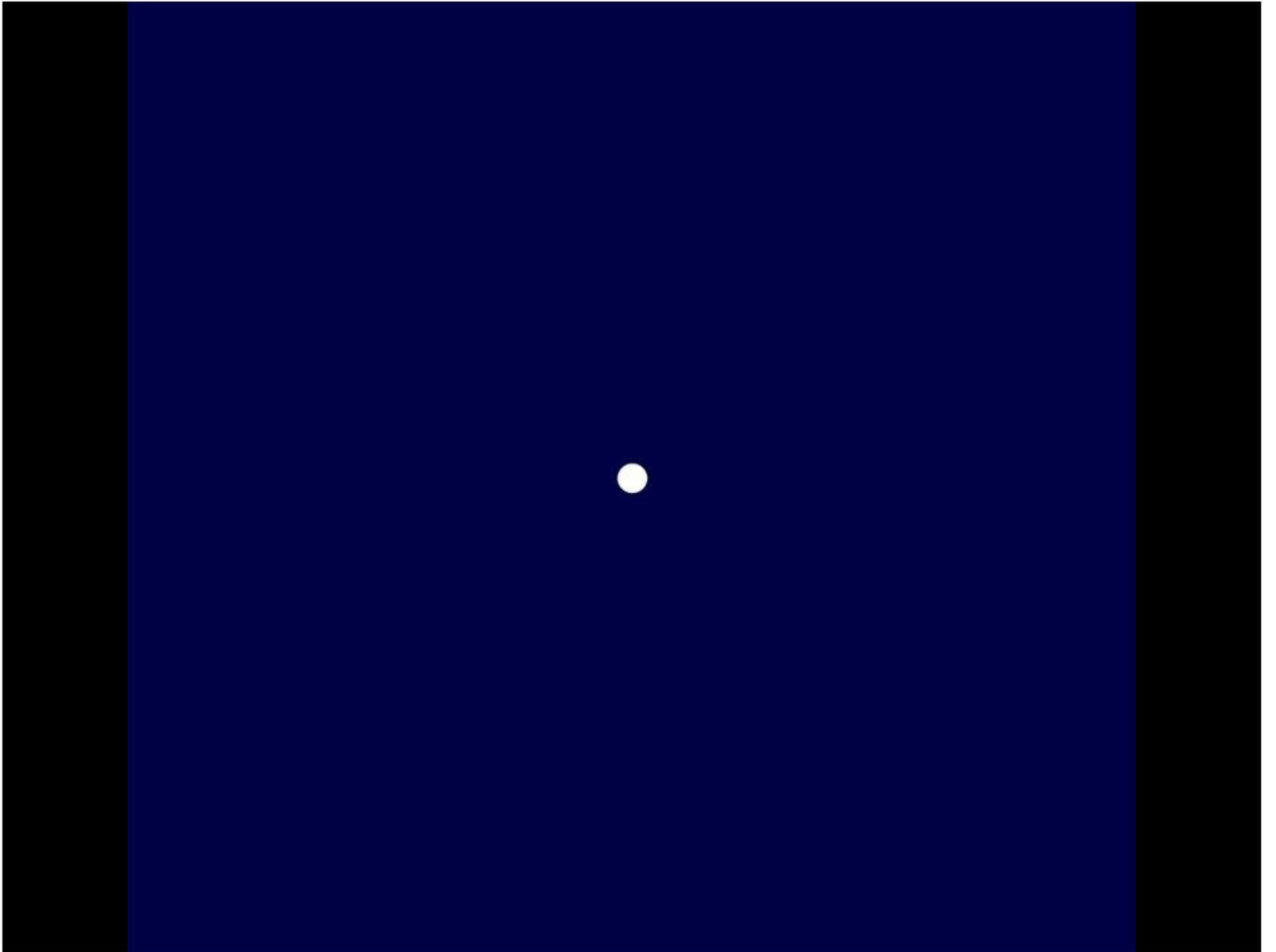
Réionisation: vue de SKA



Surface: un million de m²
3000km de ligne de base

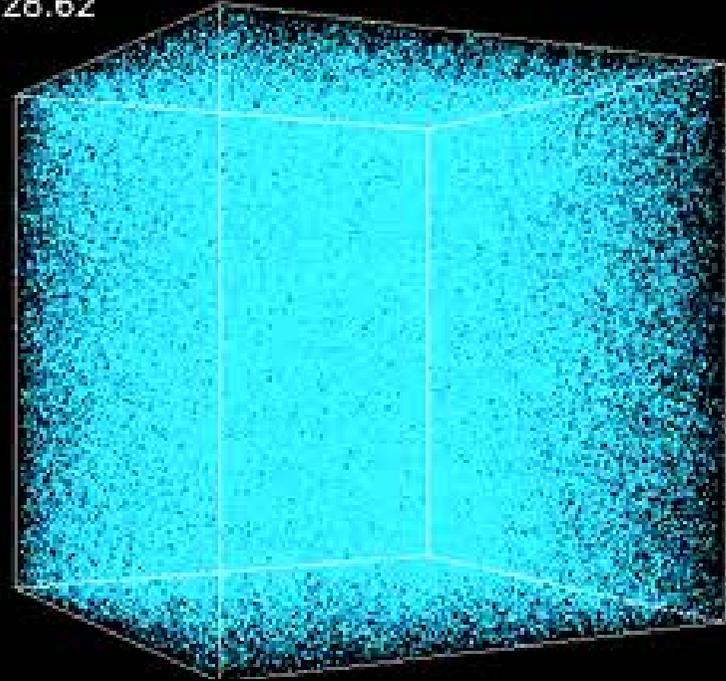
Projet mondial ondes m/cm
→ verra le HI-21cm redshifté
durant la réionisation



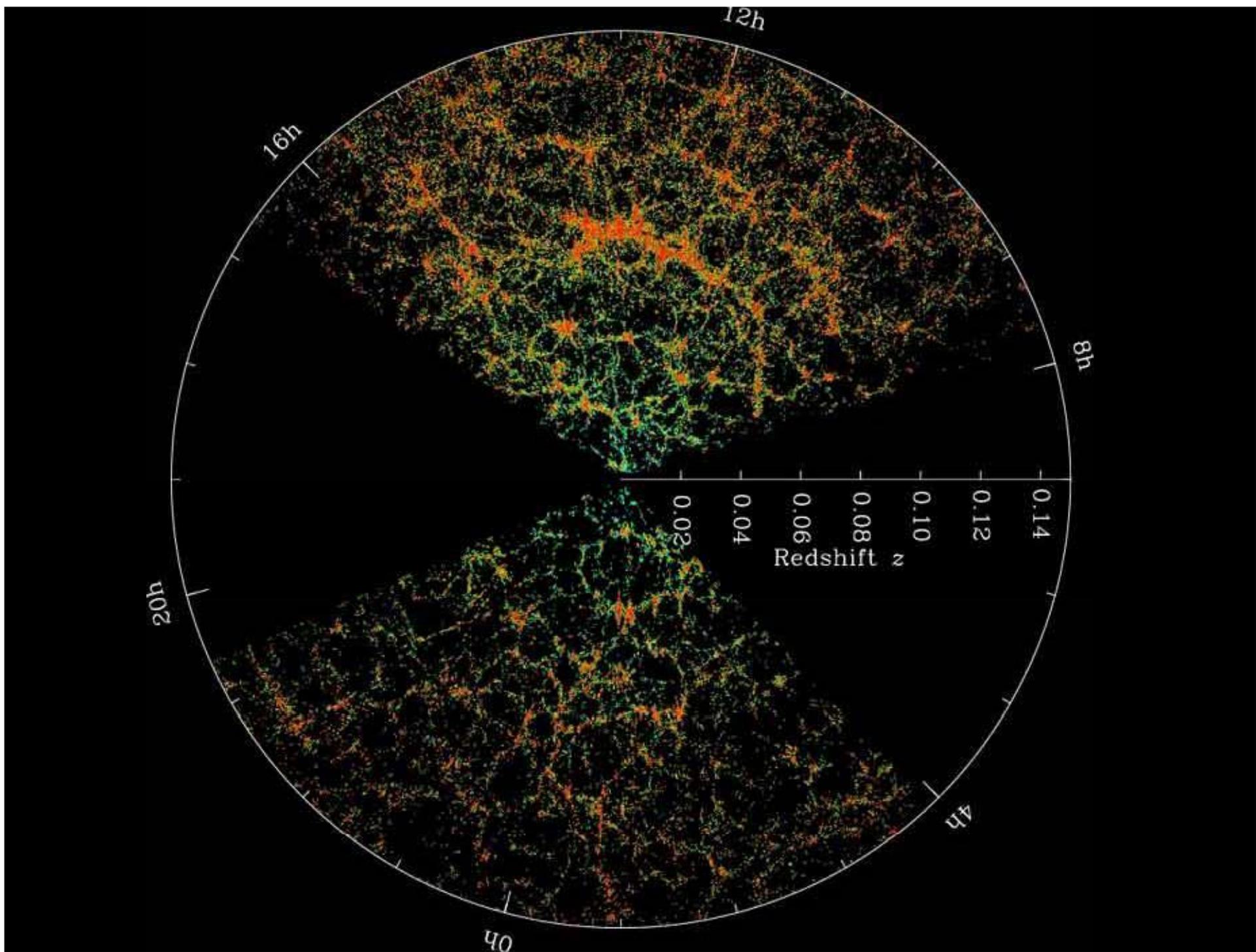




$Z=28.62$



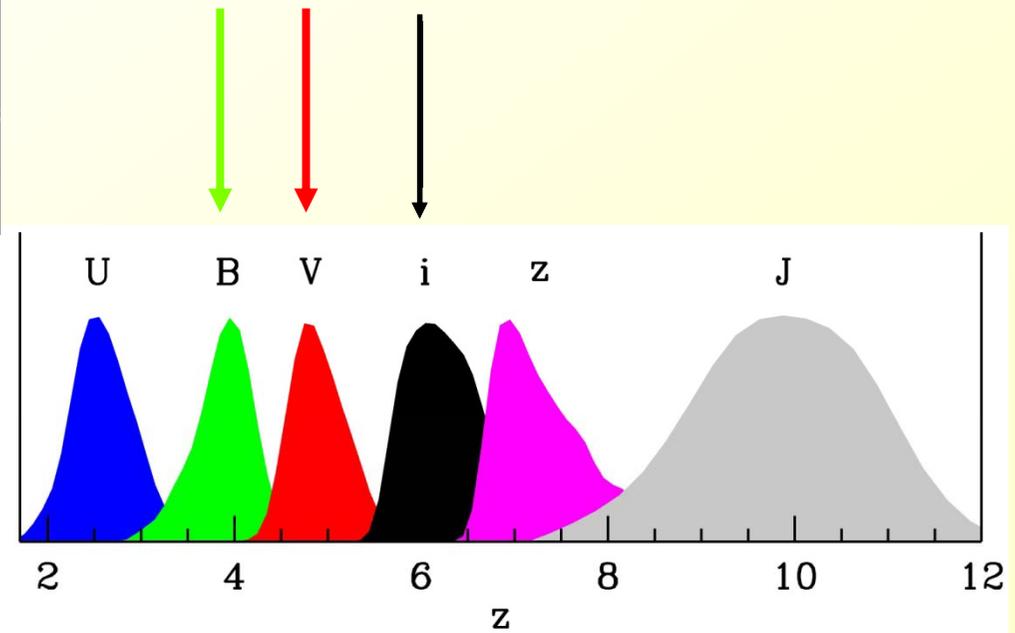
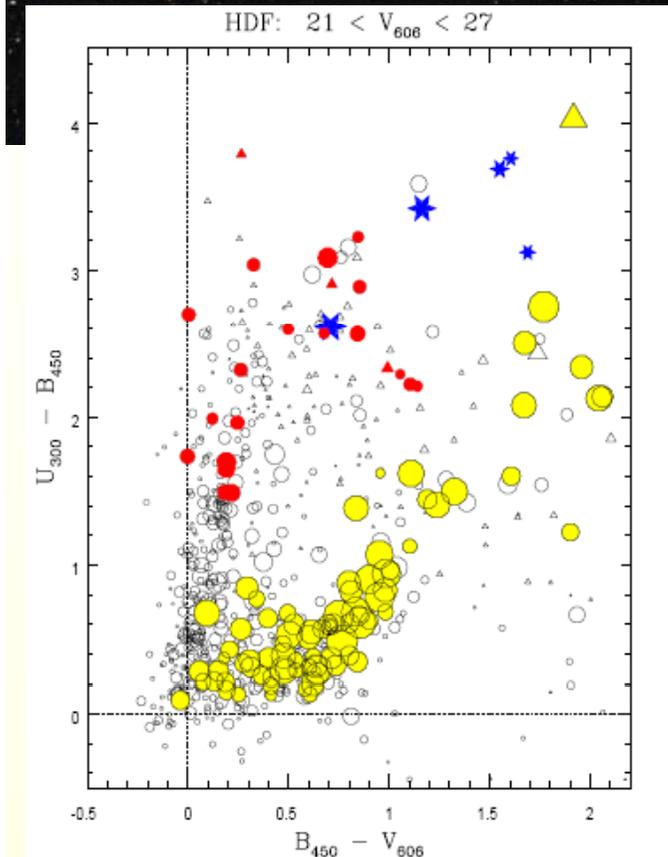
**Formation des
galaxies et
Simulation
cosmologique**



Techniques de Detection des galaxies

Galaxies à $z \sim 4, 5, \& 6$

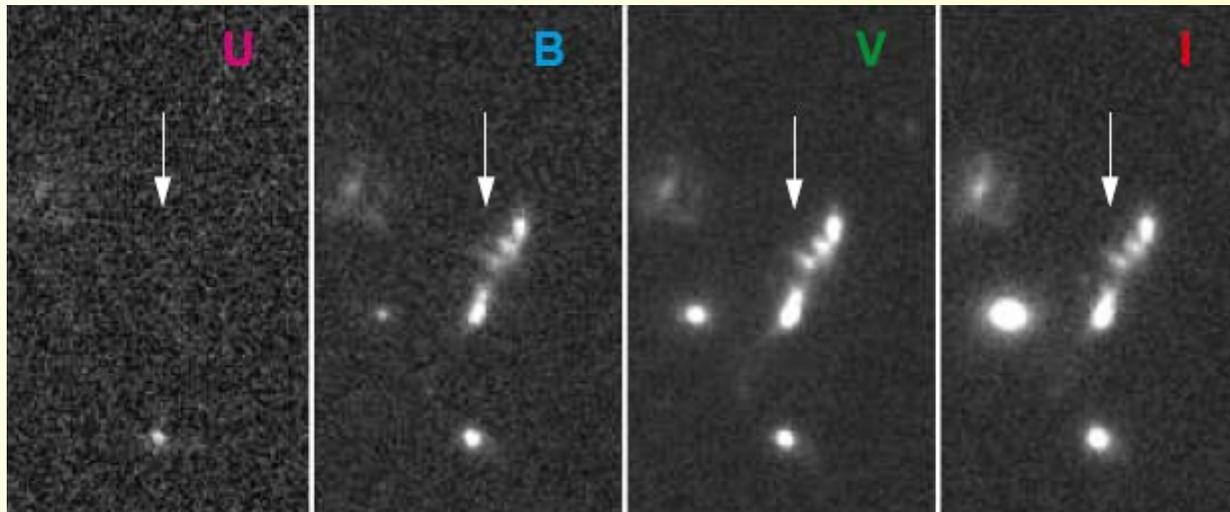
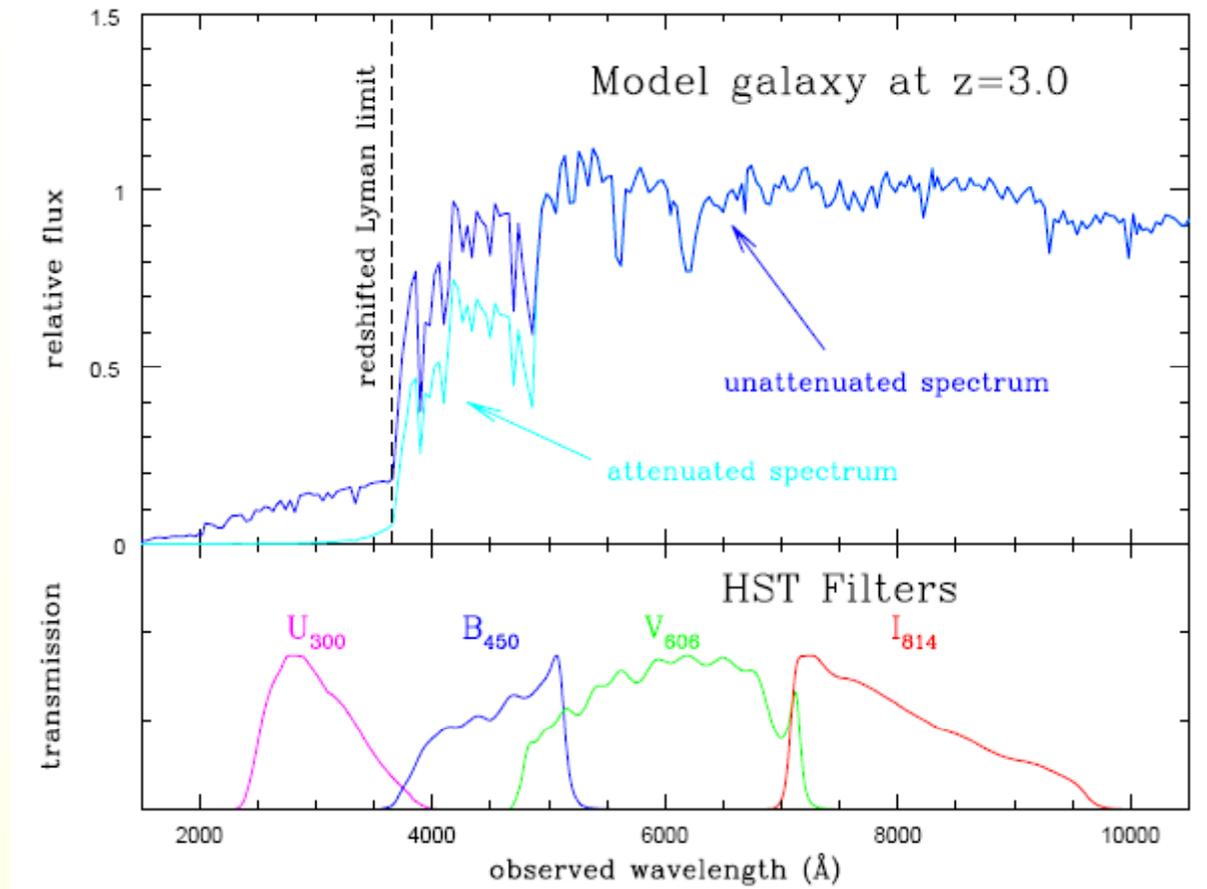
(*B, V, i-troncatures*)



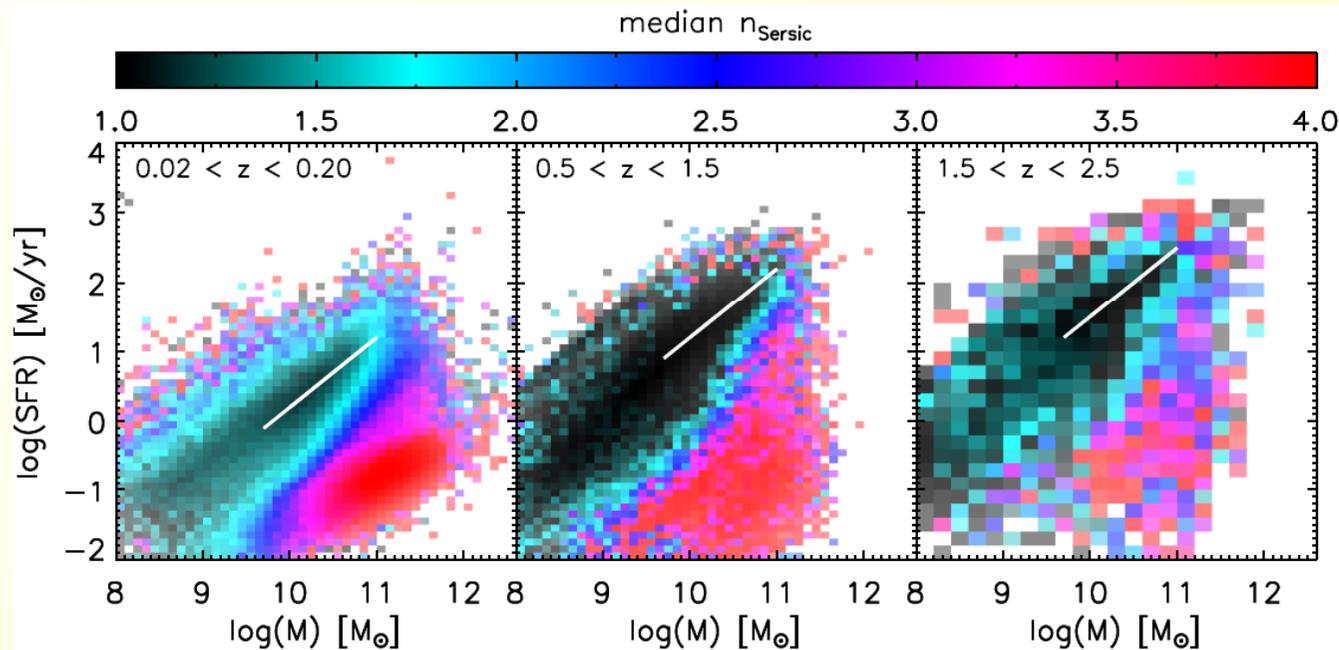
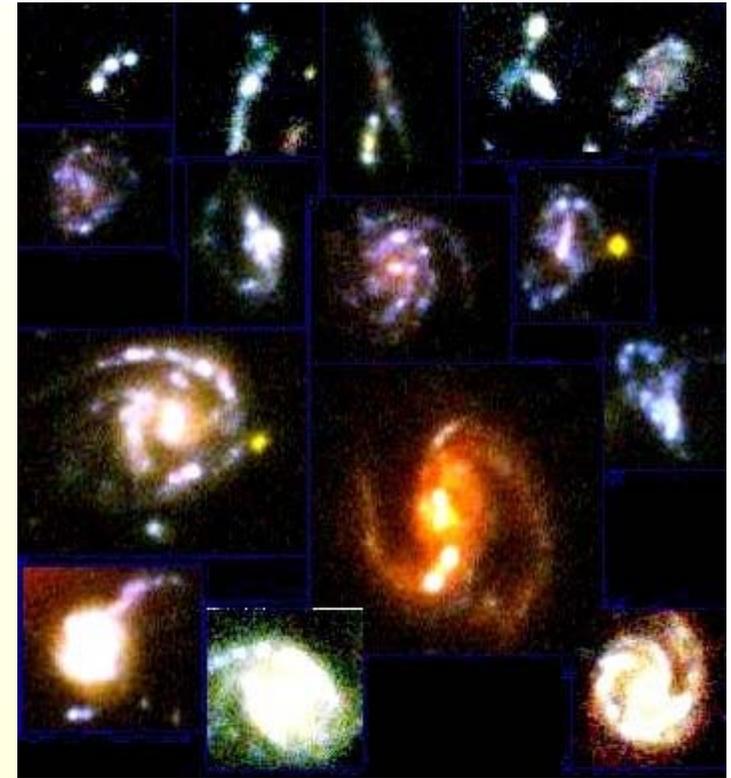
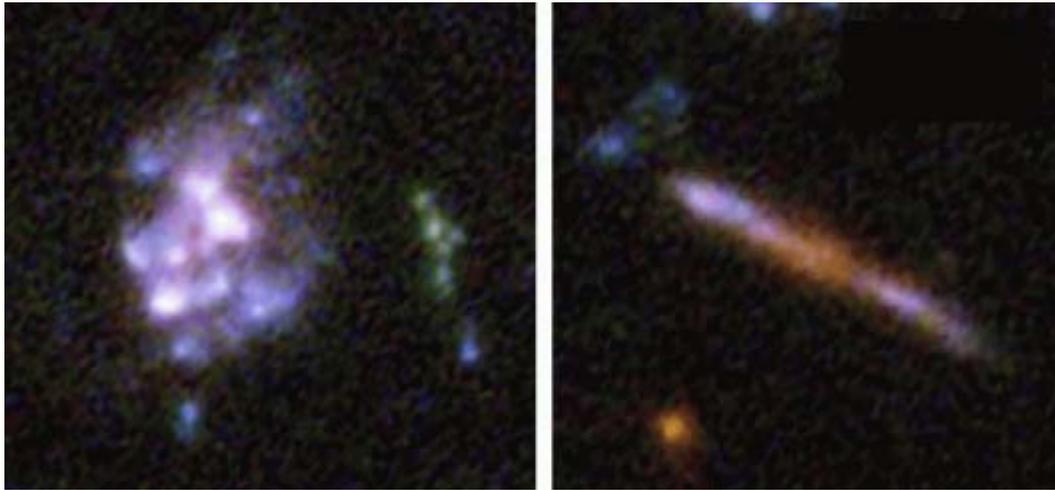
Spectres tronqués

Fonctions de selection par redshift

Technique de selection par couleur $z=3$

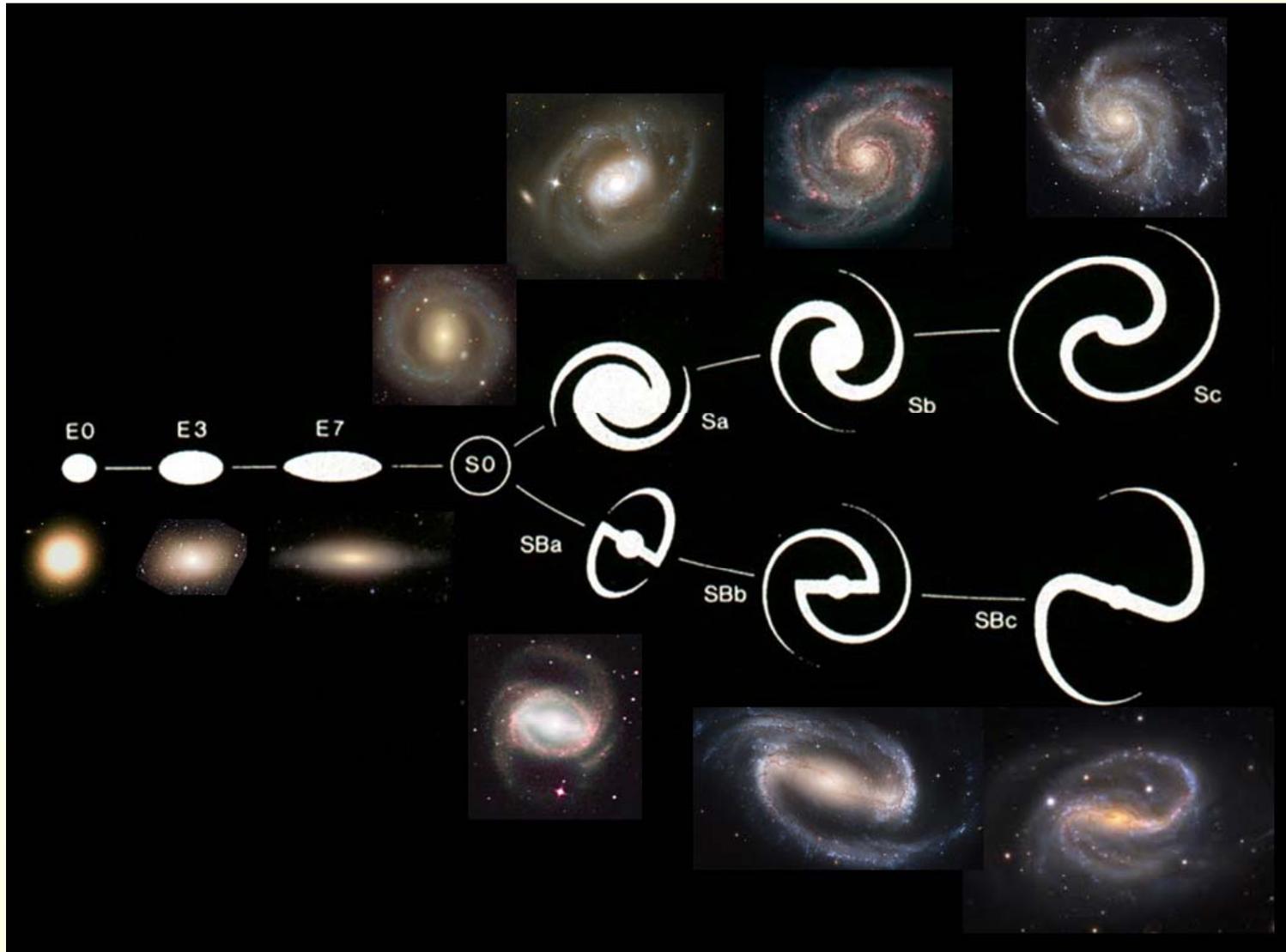


Galaxies plus irrégulières



Localement, galaxies régulières

Elliptiques ... Bulbe dominant ... Spirales ... Irrégulières



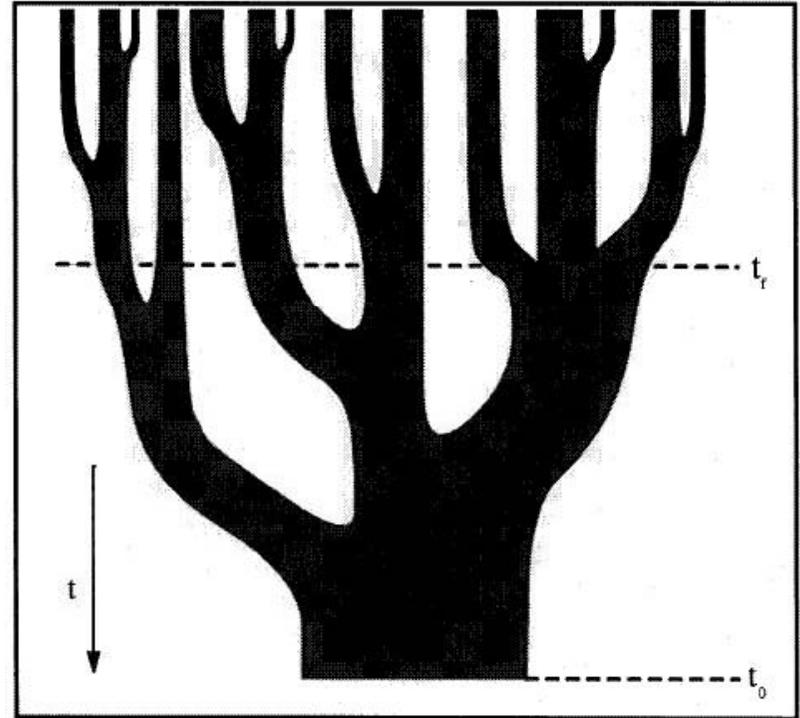
Séquence de Hubble

Formation hiérarchique des galaxies

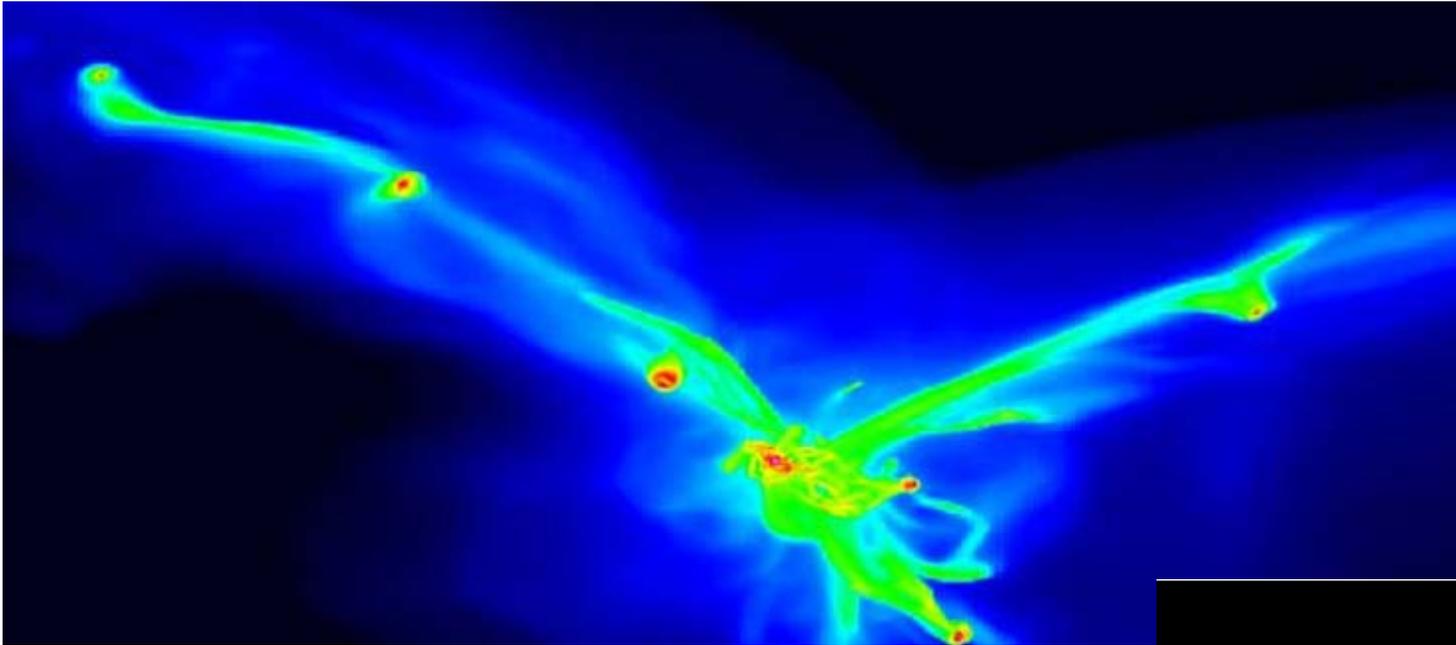
Les plus petites structures se forment en premier, de la taille de galaxies naines ou amas globulaires

Par **fusion successive et accréation** les systèmes de plus en plus massifs se forment

Ils sont de moins en moins denses

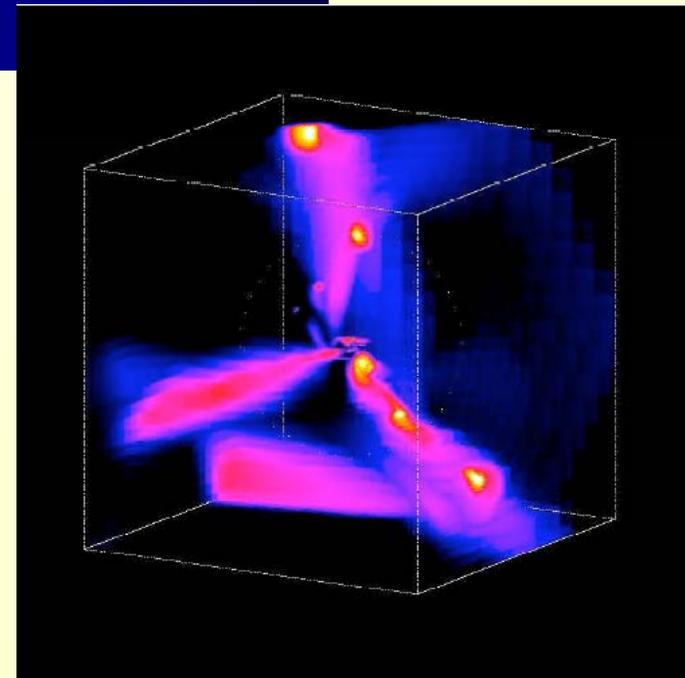


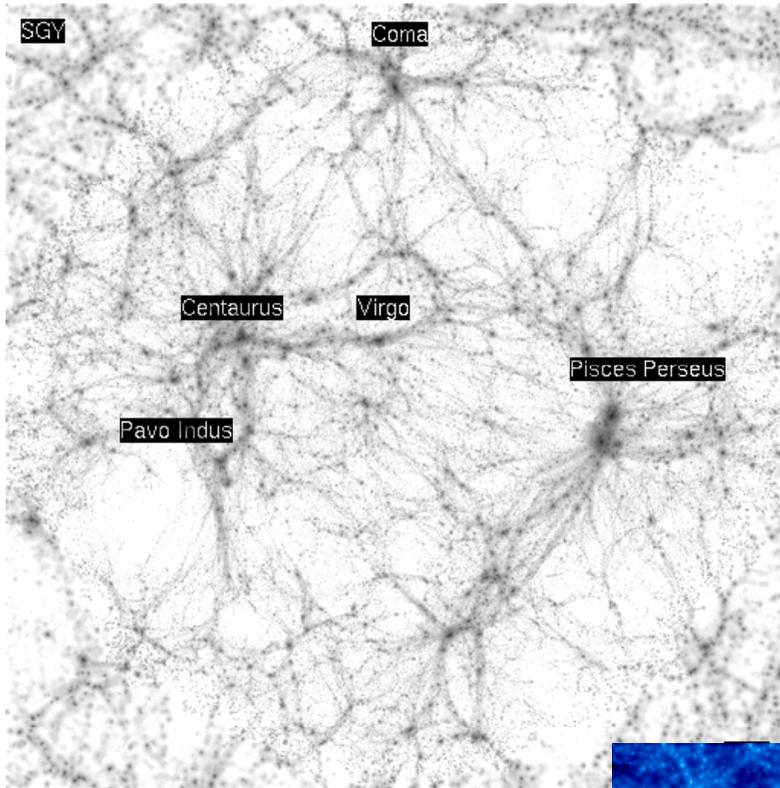
Filaments Cosmiques



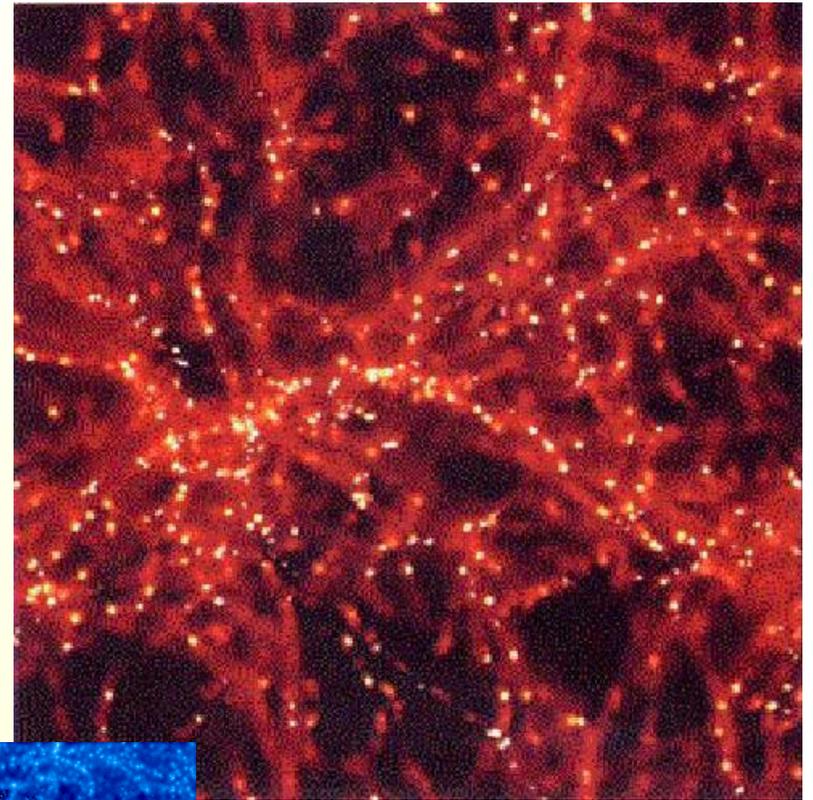
Galaxies se formant dans les filaments,
et amas de galaxies à la
croisée des filaments

→ Accrétion de gaz



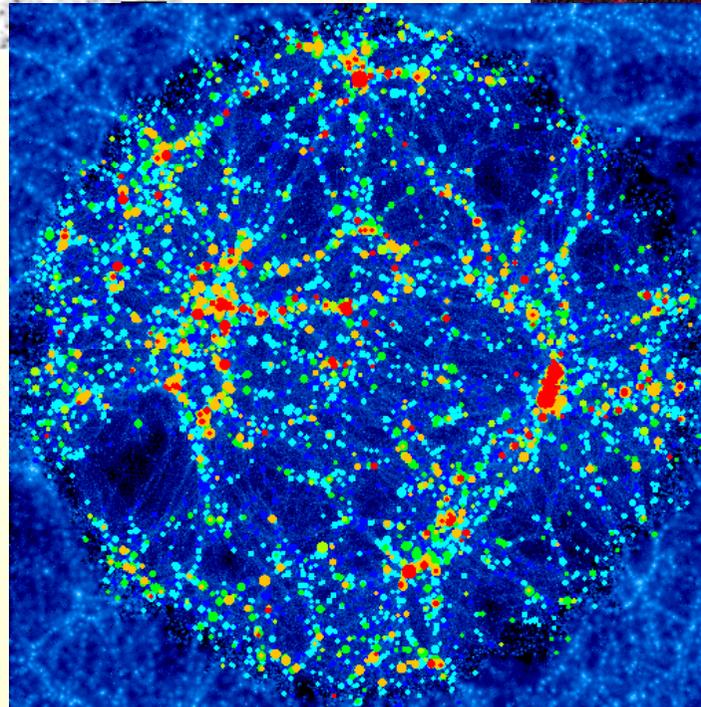


Gaz



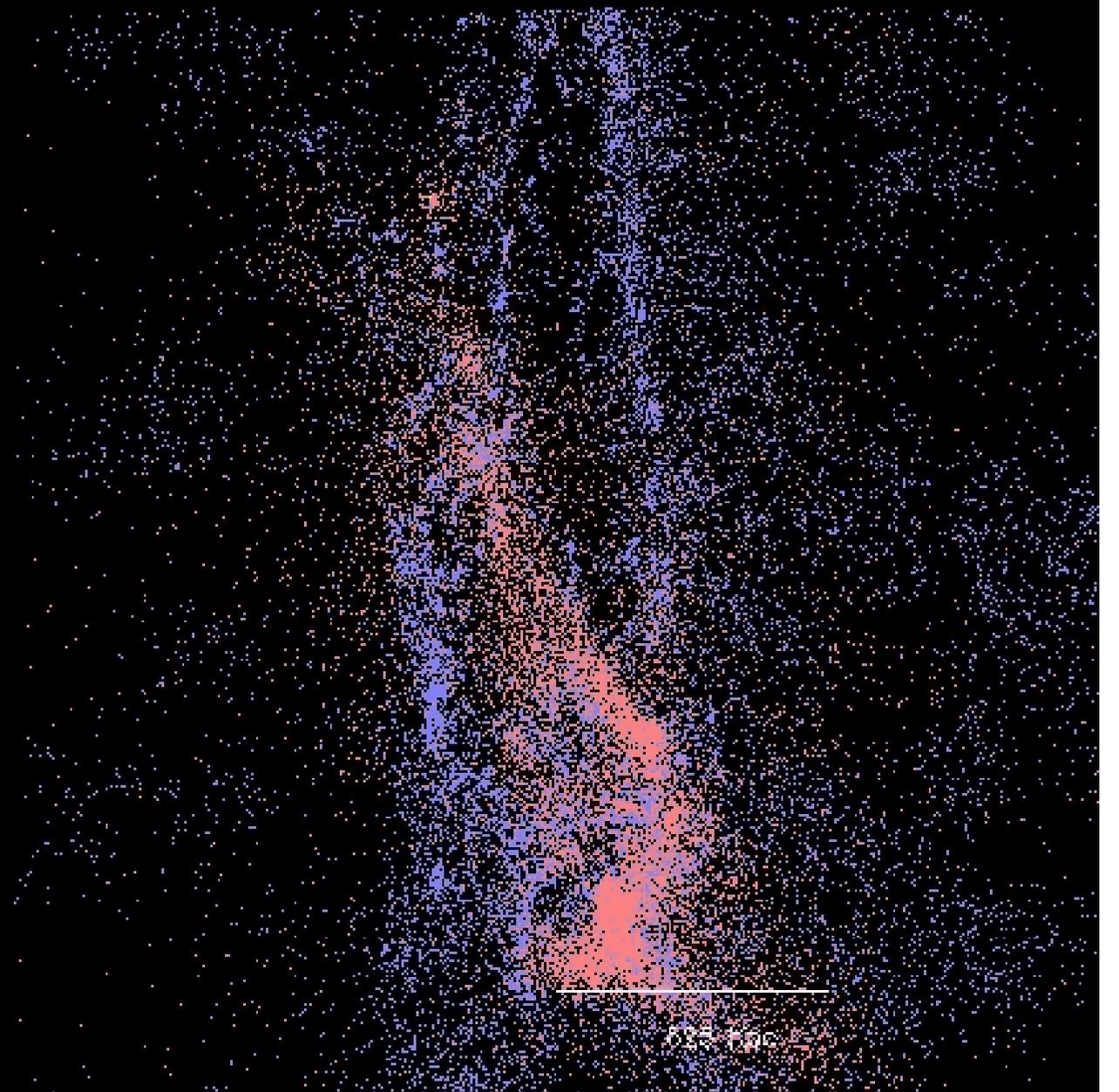
Matière noire CDM

Simulations



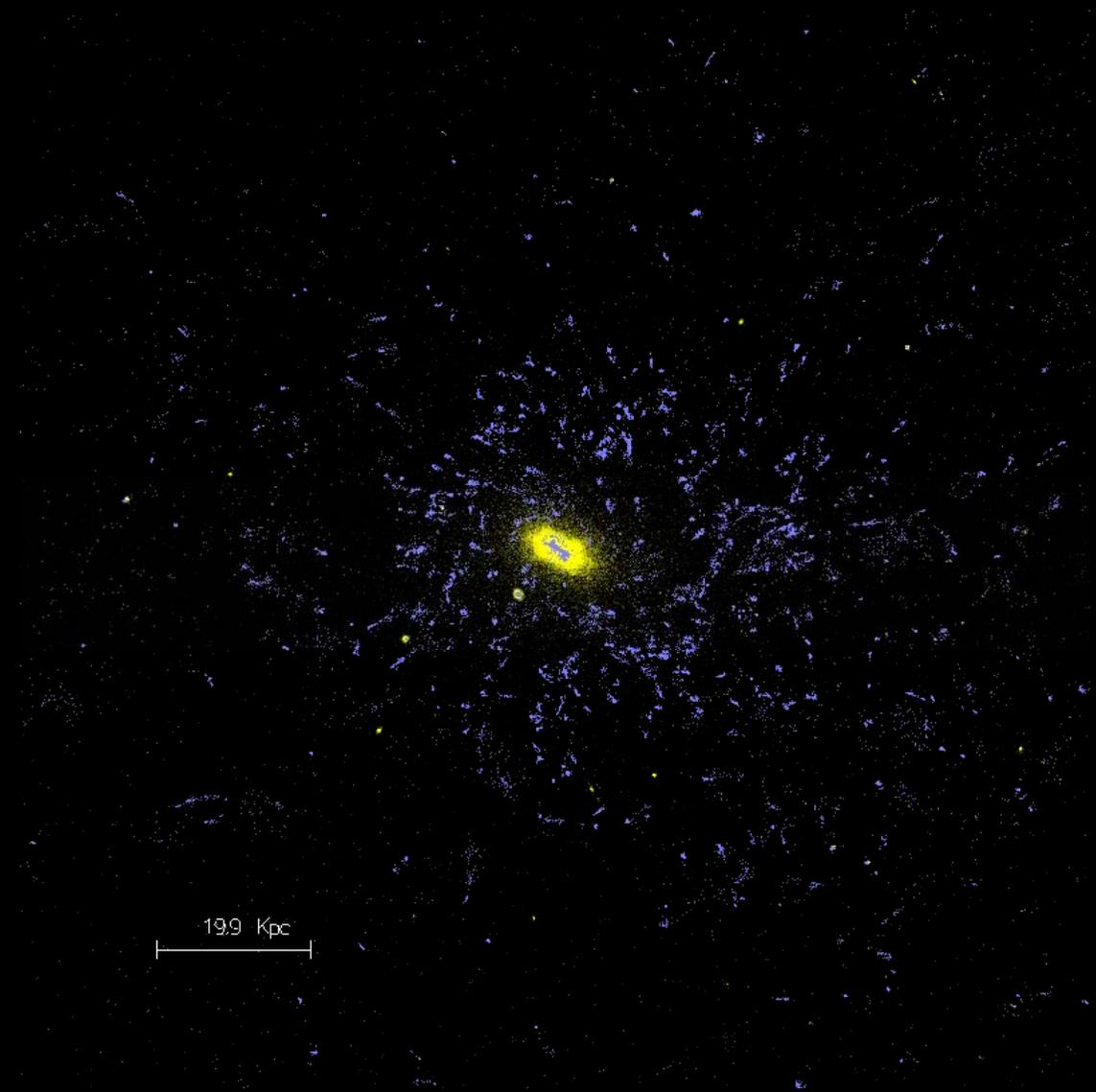
Galaxies

Galaxies et Filaments



Multi-zoom

Interactions entre galaxies → fusion

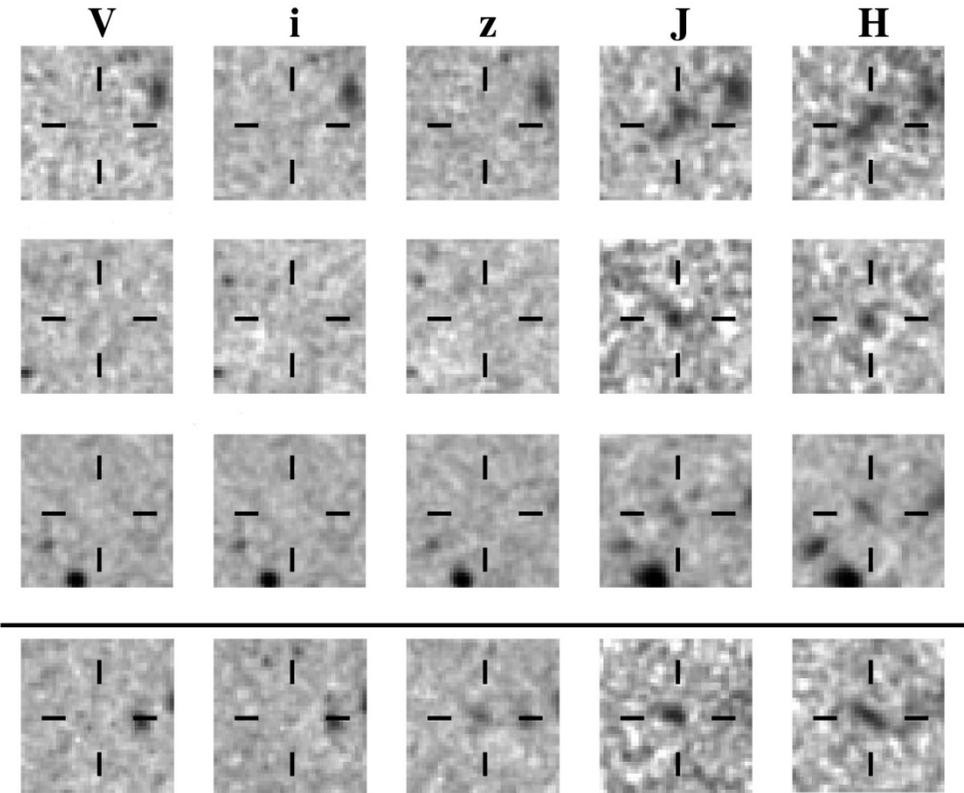
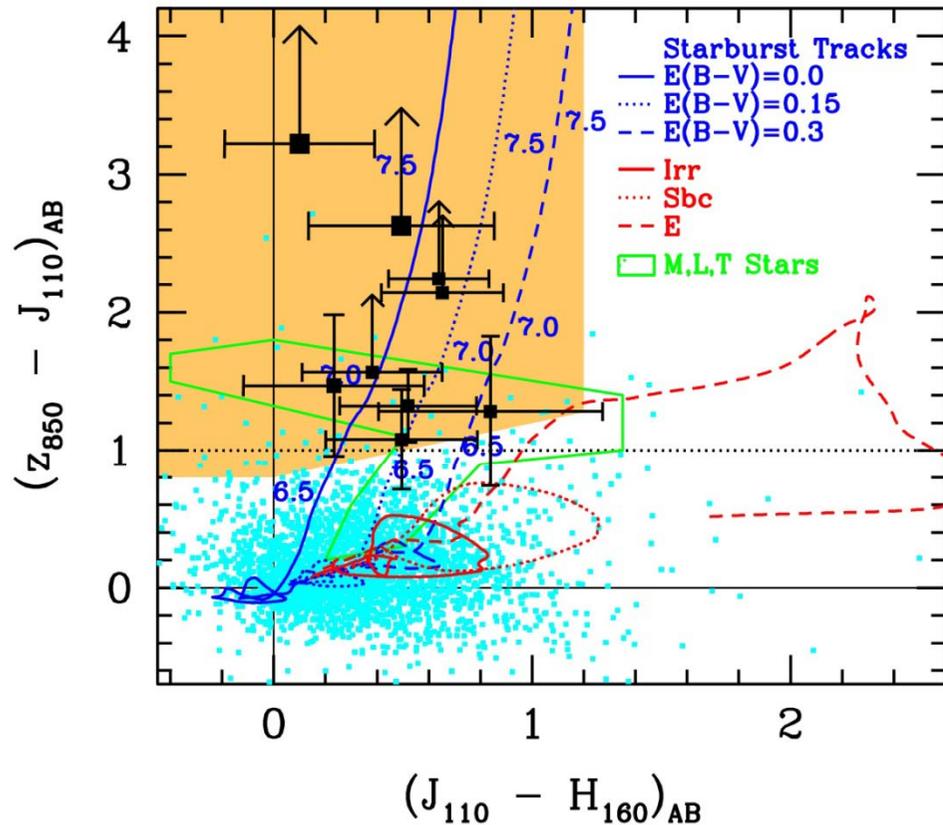


19.9 Kpc

Galaxies à $z=7, 8$

Sélection par couleurs

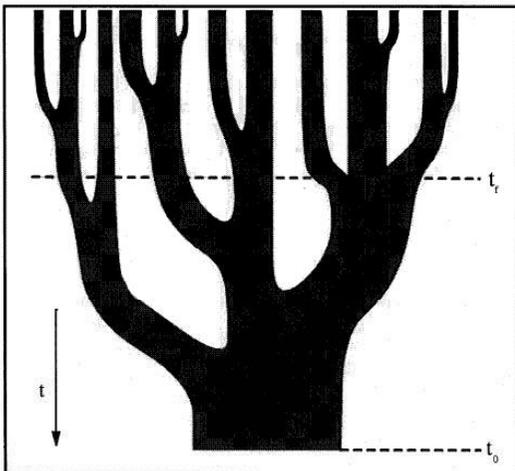
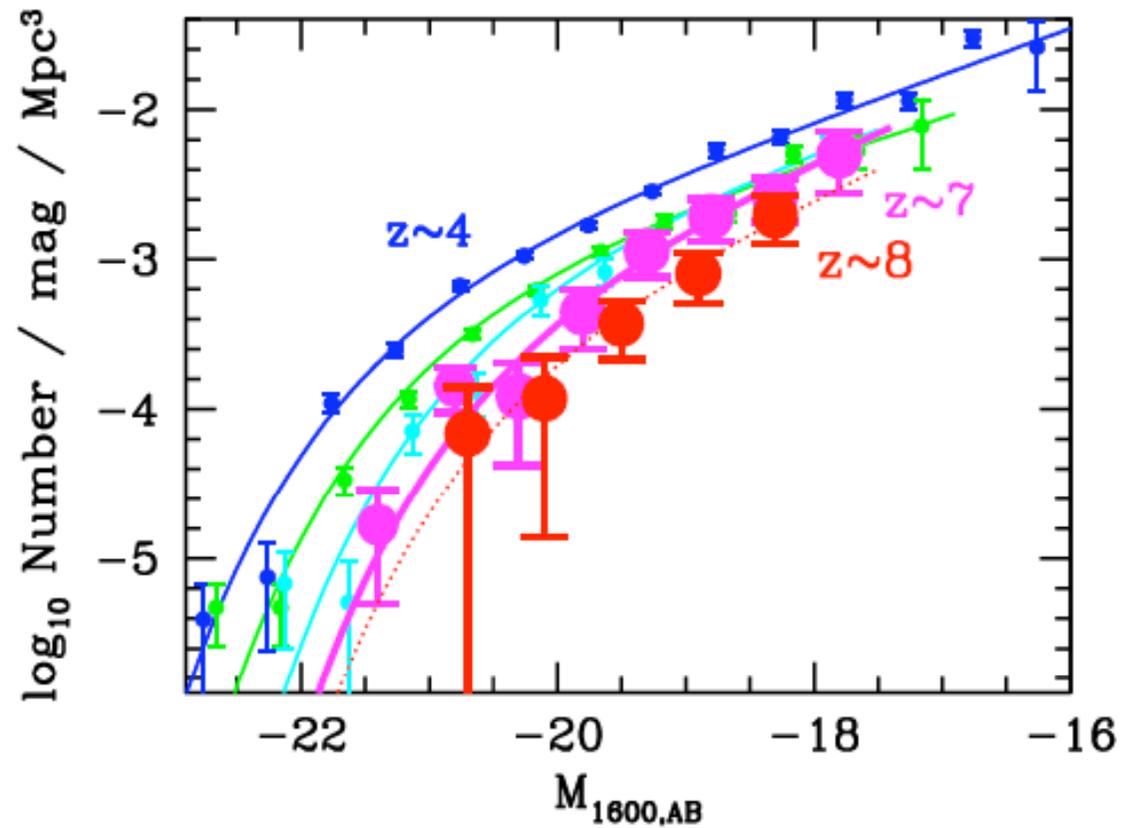
Et disparition du flux dans le bleu, par absorption du milieu intergalactique



Telescope Spatial Hubble

Fonction de Luminosité à $z=7,8$

Nbre de galaxies
 $\text{mag}^{-1} \text{Mpc}^{-3}$

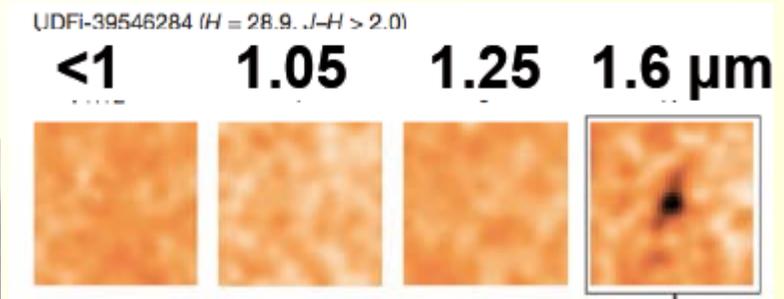


Brillant

Faible

Quelle est la première galaxie?

Candidats à $z=10$

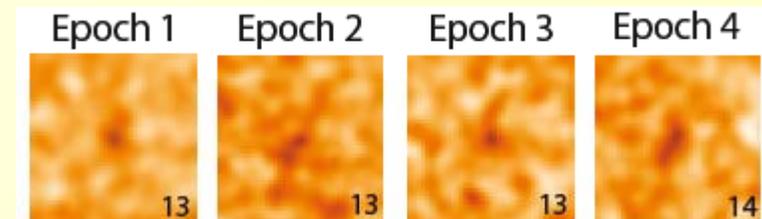


Disparition à $\lambda=1.4$ microns

Observations difficiles, à la limite des capacités des télescopes

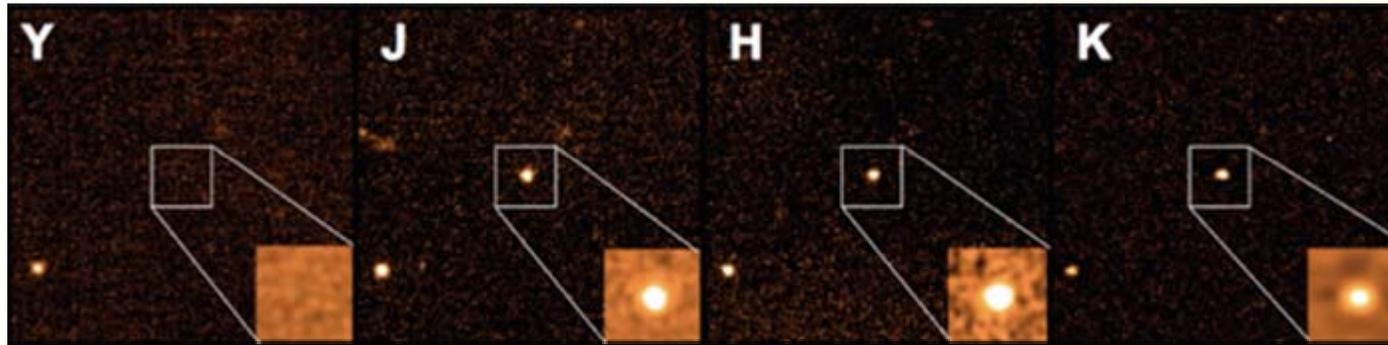
→ JWST

6.5m, 2018



Detectée dans chaque sous-groupe des observations

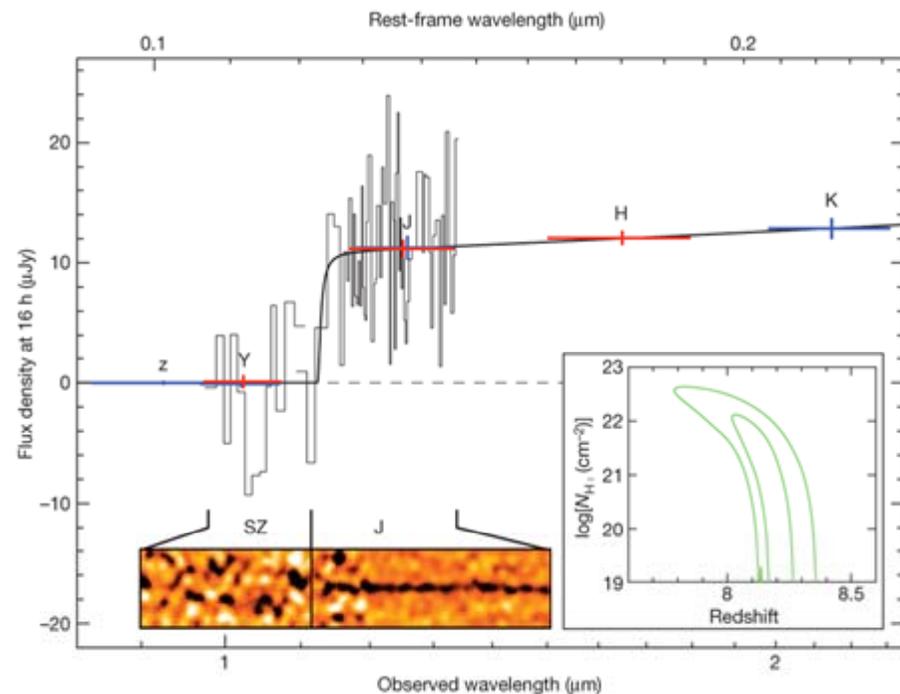
Les sursauts Gamma (GRB)



Objets les plus lumineux
Pendant 1-10 secondes

(dilatation du temps de $(1+z)$)

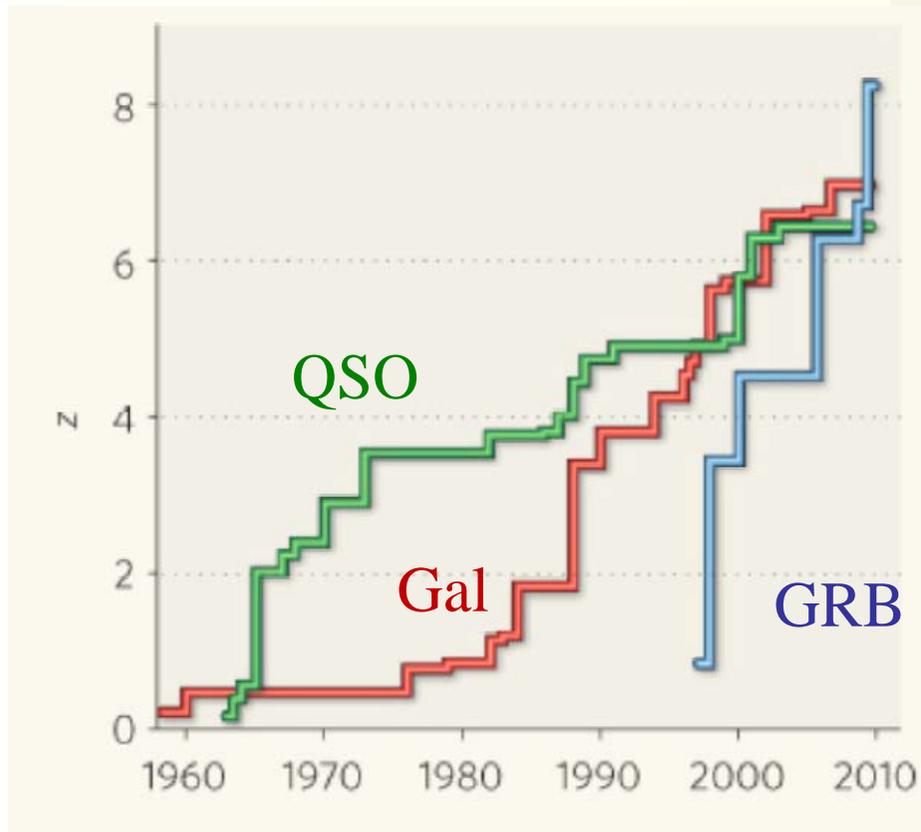
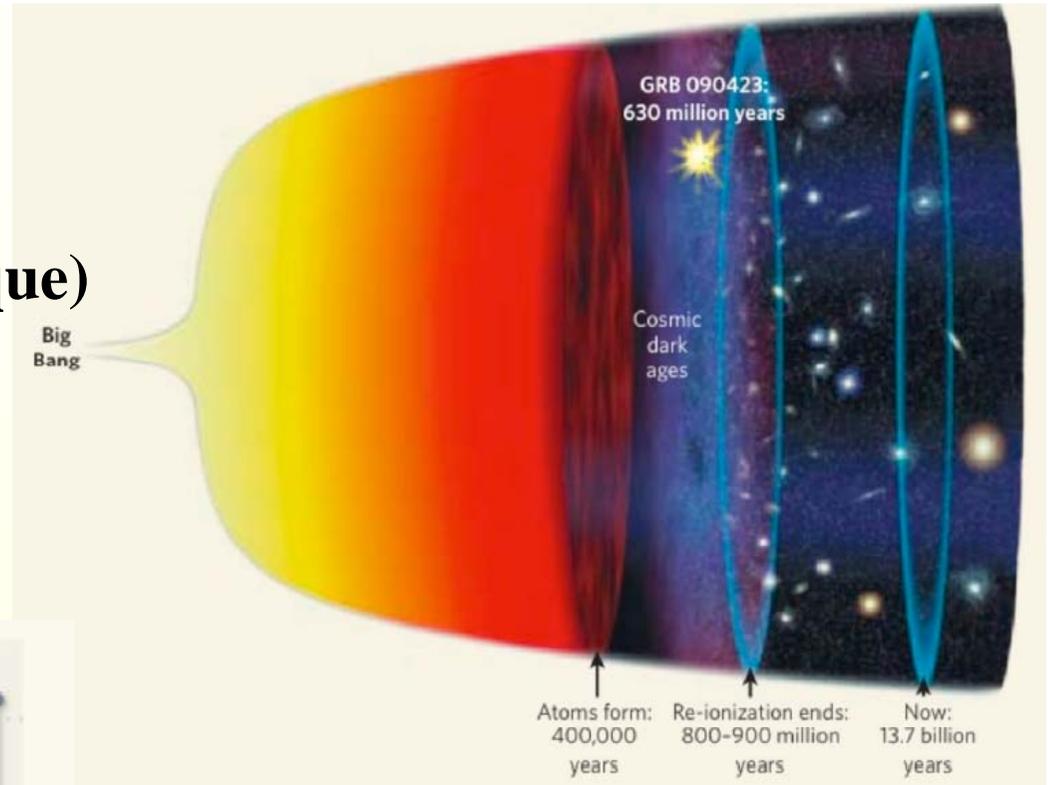
Effondrement d'une super-étoile
Ou bien fusion de deux objets
compacts (étoiles à neutrons)



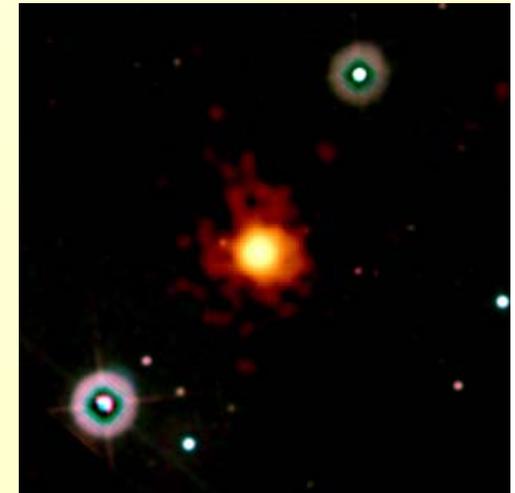
GRB= sursauts γ

L'objet le plus lointain
un GRB à $z=9.4$ (z photométrique)

~150 ma après le Big-Bang

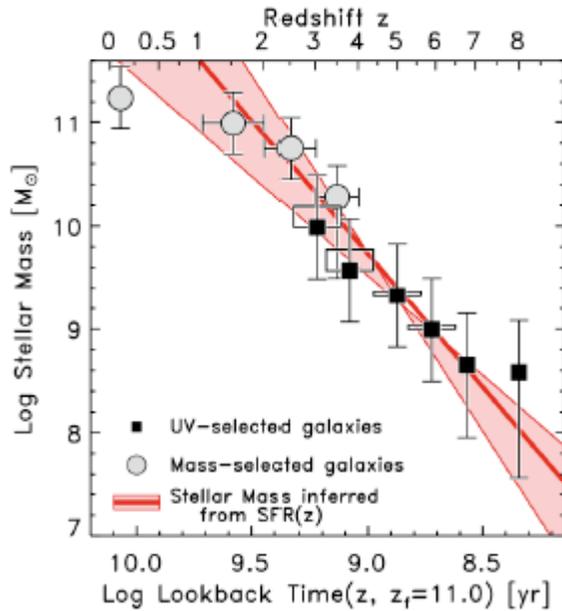


X-ray, optique, $z=8.2$
190 ma après recombinaison



Histoire de la formation d'étoiles de l'Univers

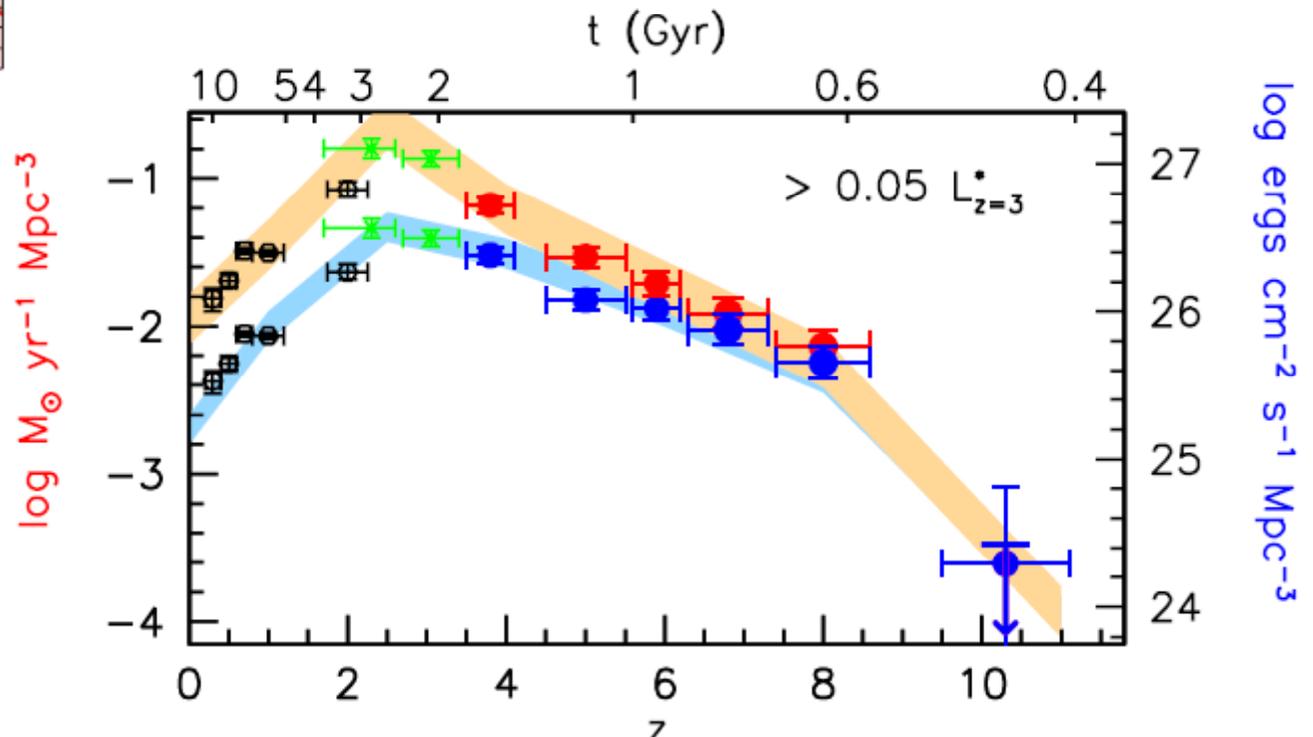
Masse d'étoiles (t)



Quand se sont formées l'essentiel des étoiles dans la Voie Lactée et les galaxies proches?

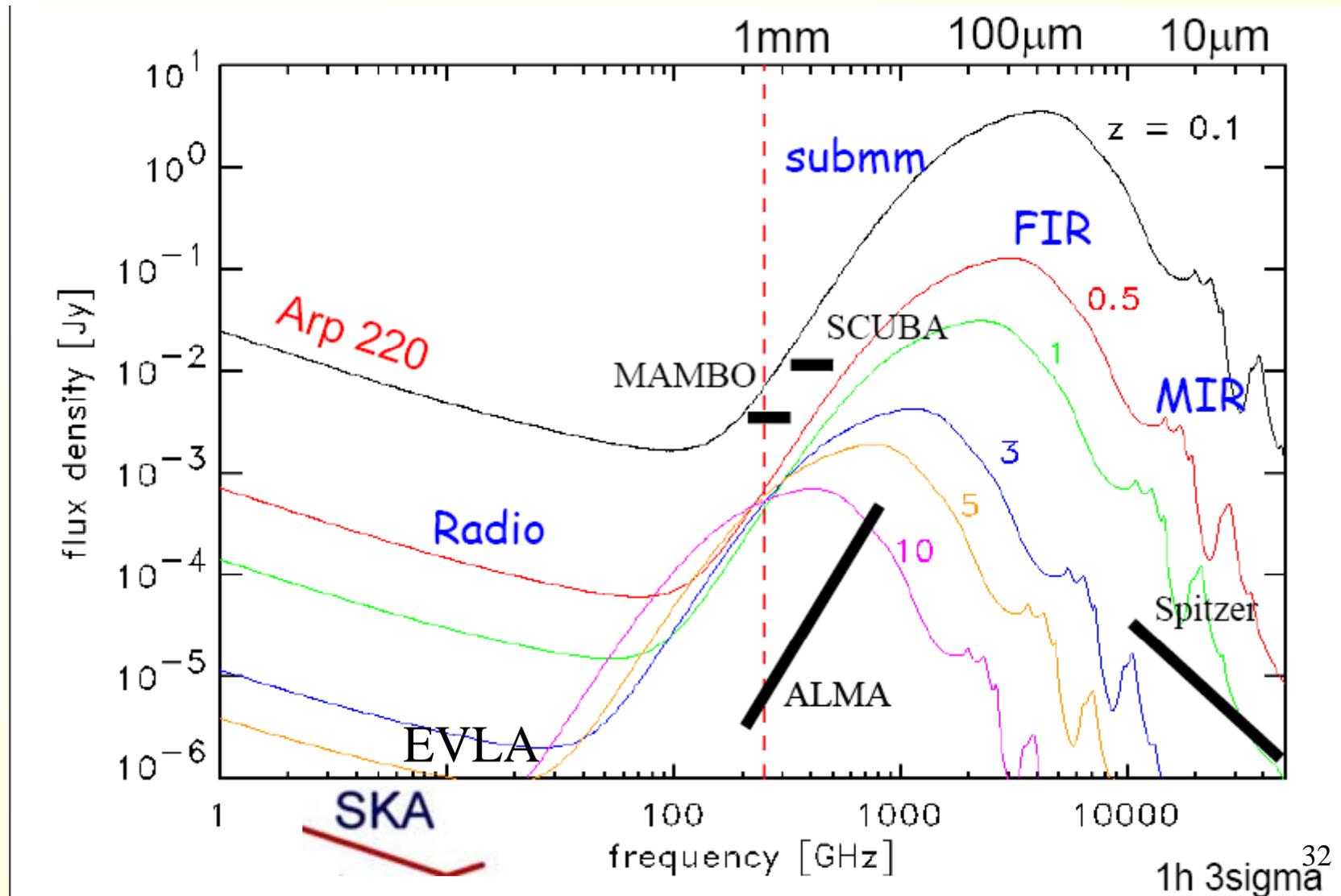
Taux de formation:

- Bleu: optique
- Rouge IR, FIR obscurci par la poussière



Privilège du domaine mm/submm

Correction cosmologique négative: exemple de Arp 220

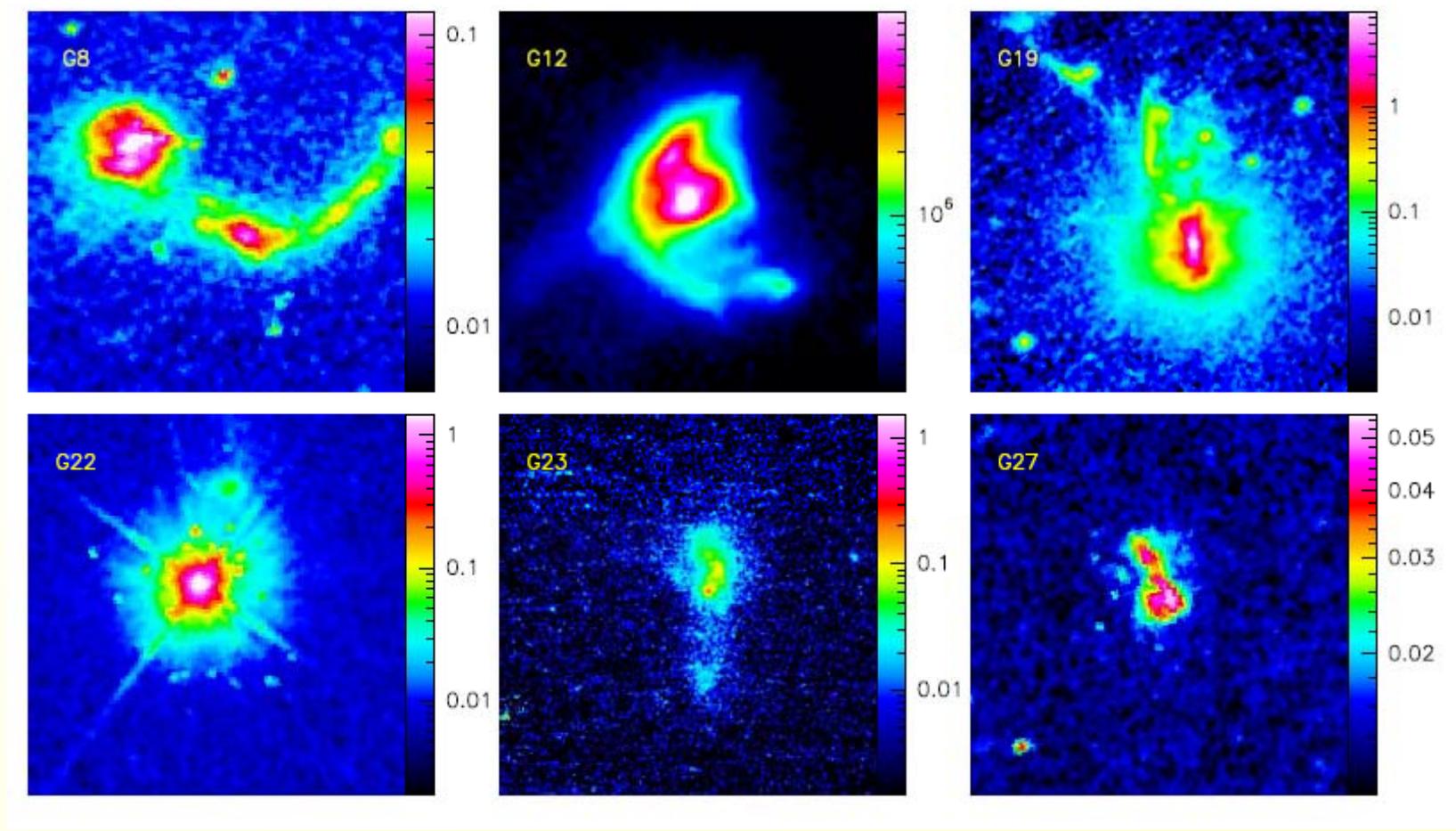


Nouveau télescope: interféromètre ALMA



Galaxies ultra-lumineuses: Systèmes perturbés

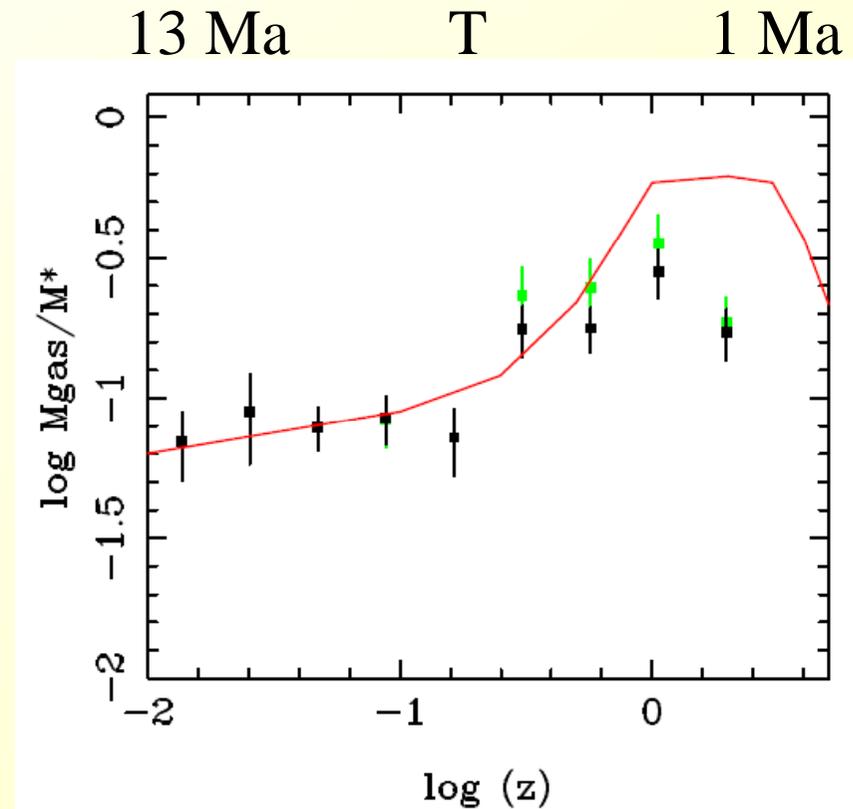
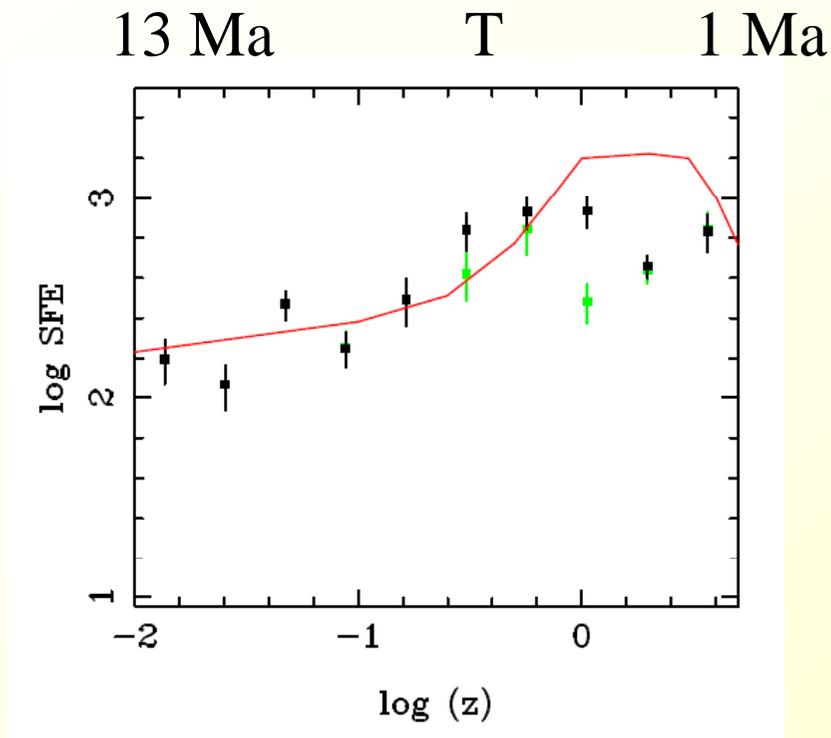
Toutes ces galaxies sont détectées en CO



10 arcsec

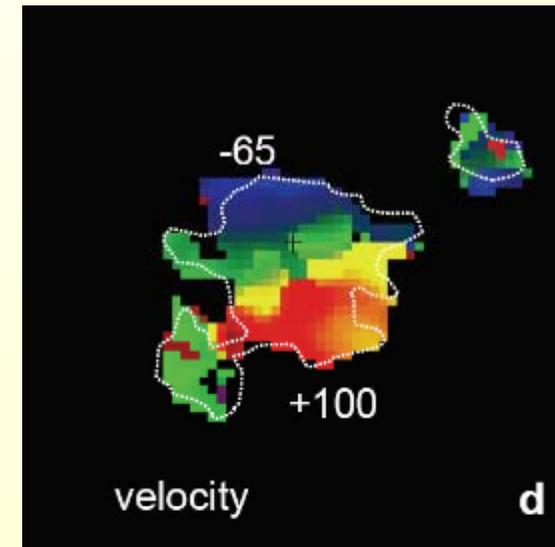
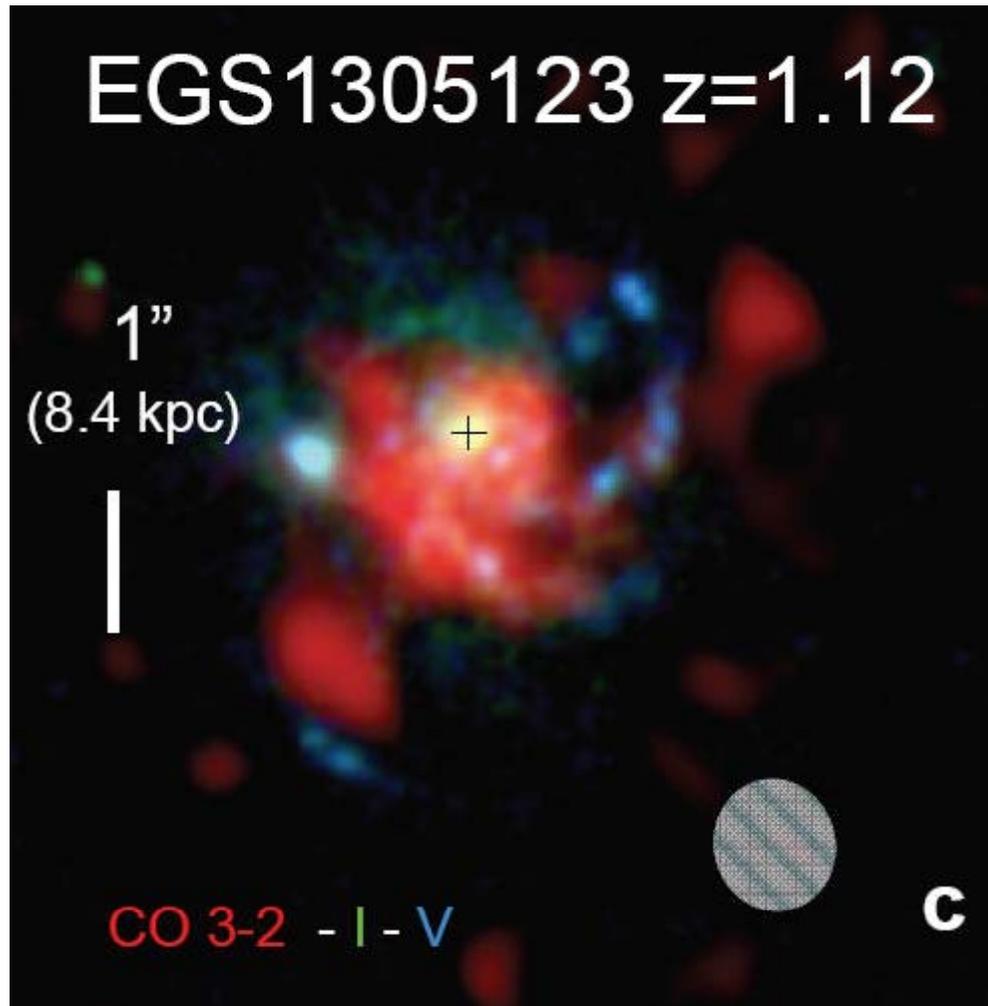
$0.2 < z < 0.6$

Efficacité de formation d'étoiles plus élevée, plus de gaz



Galaxies $z=1-2$

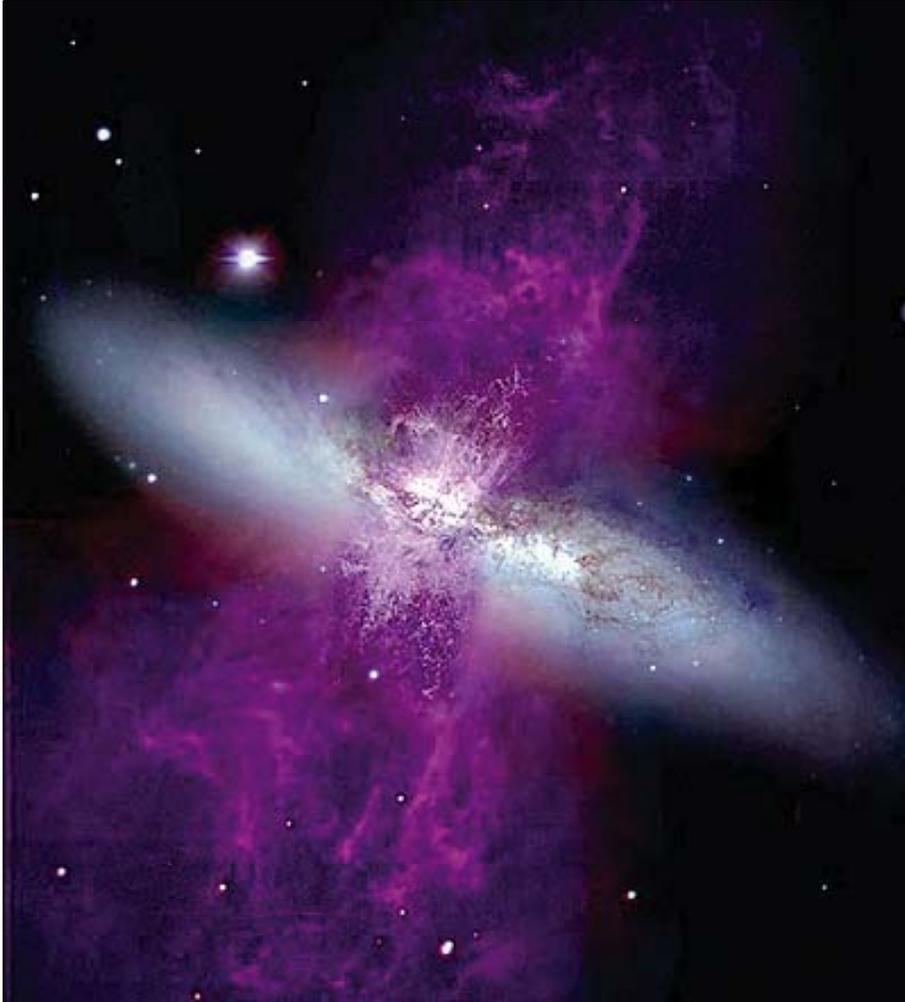
19 galaxies observées à IRAM,
10 à $z\sim 2.3$ et 9 à $z\sim 1.2$



Galaxies à formation d'étoiles « Normale »

Contenu en gaz **$\sim 34\%$ et 44% en moyenne** à $z=1.2$ et 2.3 respectivement
5% dans la Voie Lactée

Rose= gaz ionisé H α



Rouge: gaz moléculaire H $_2$

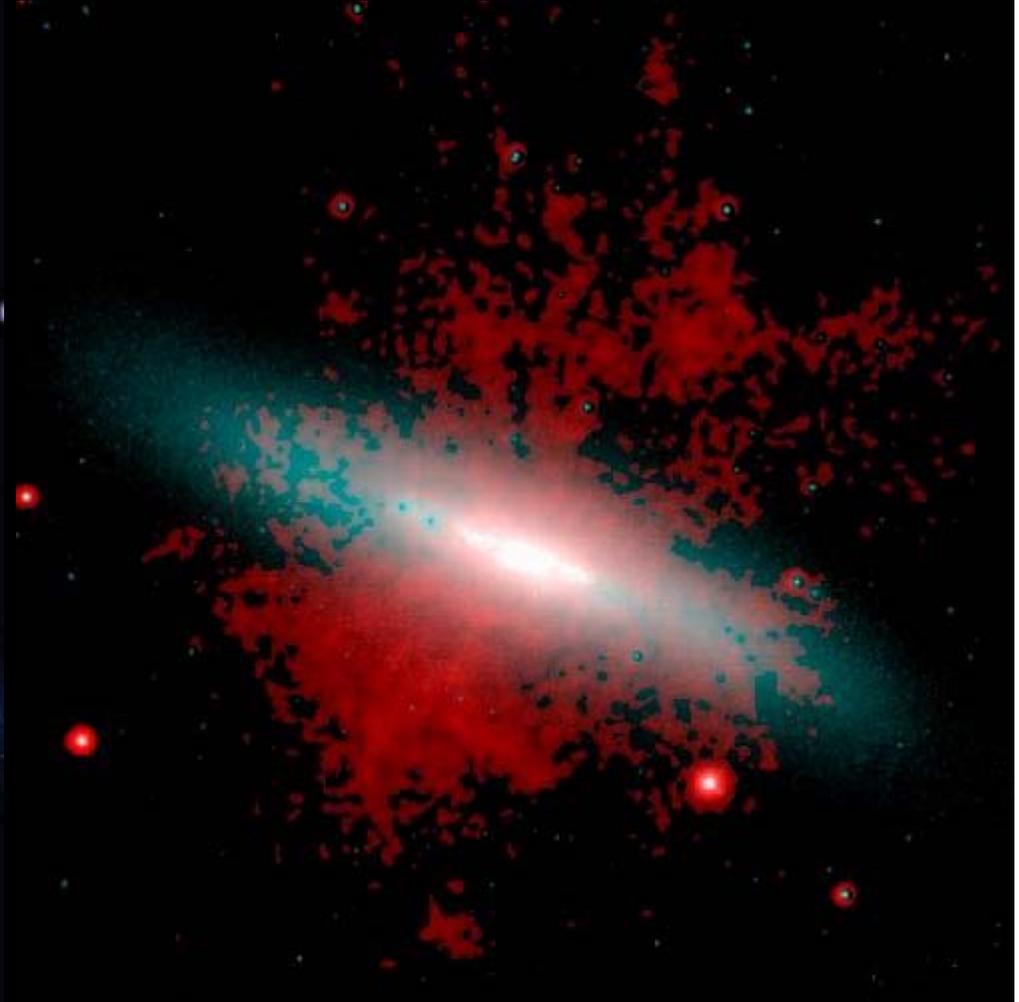
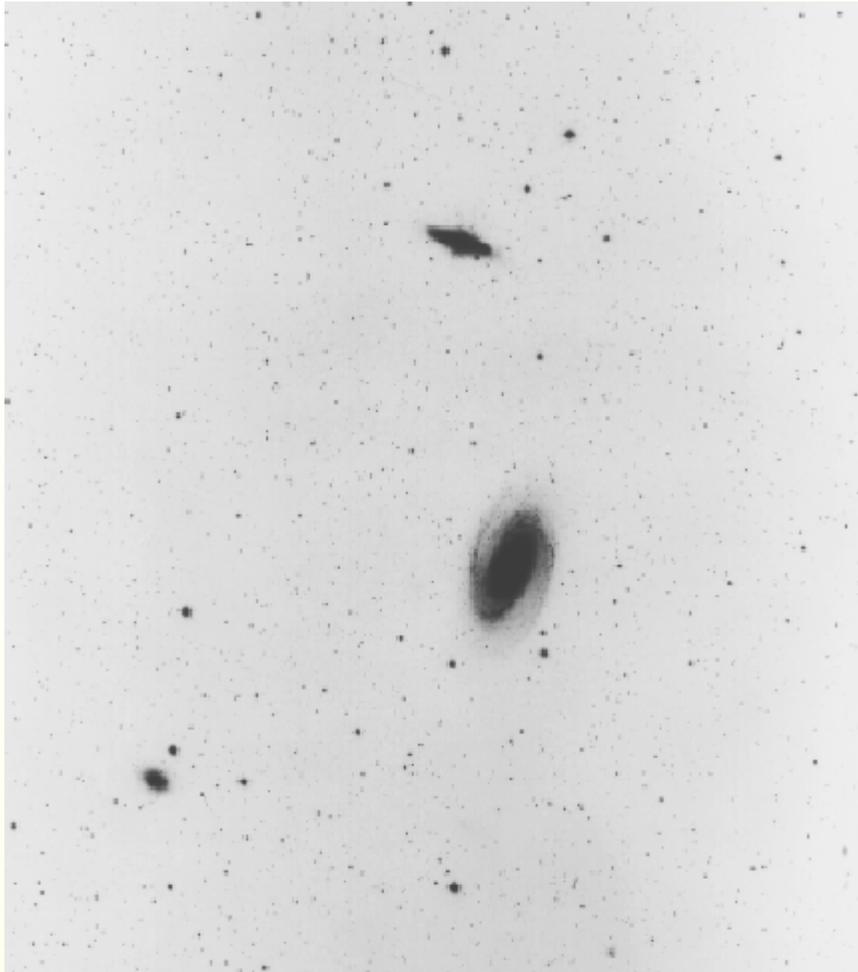
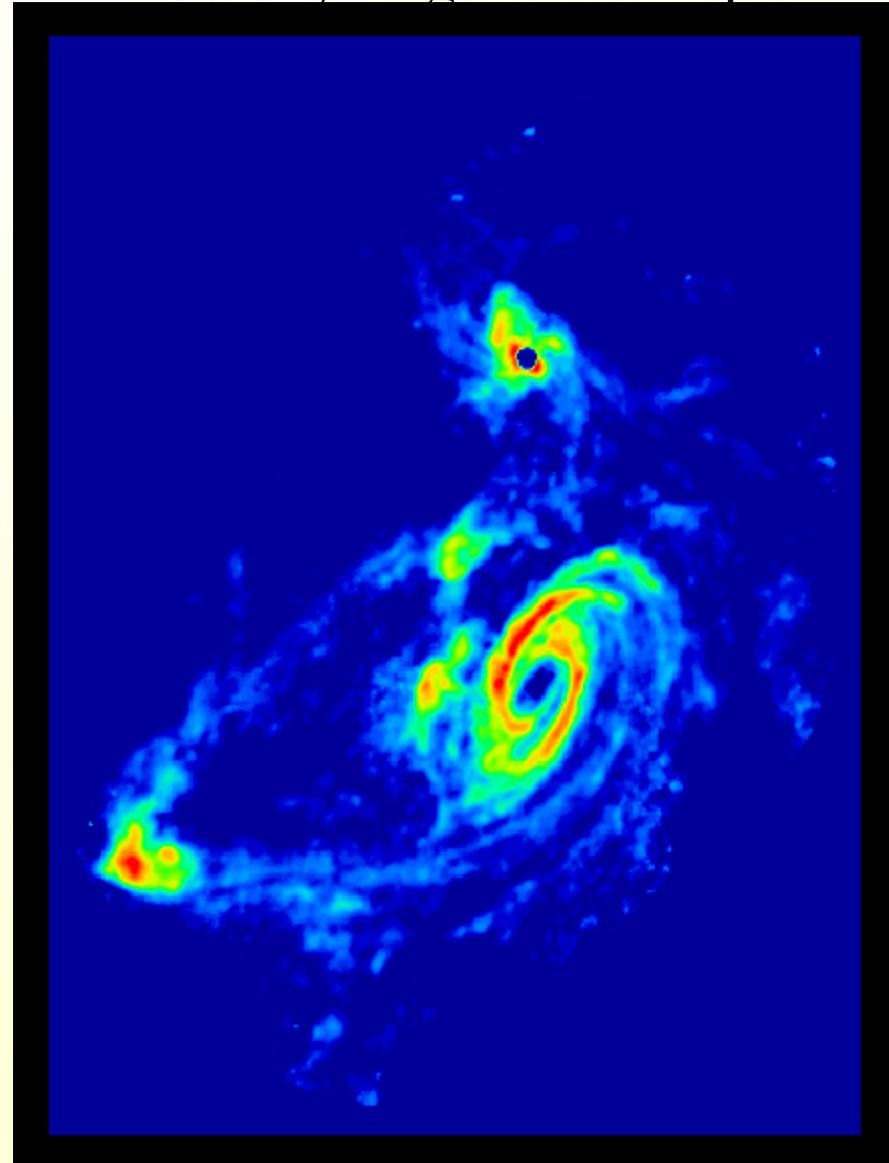


Image optique
Lumière des étoiles

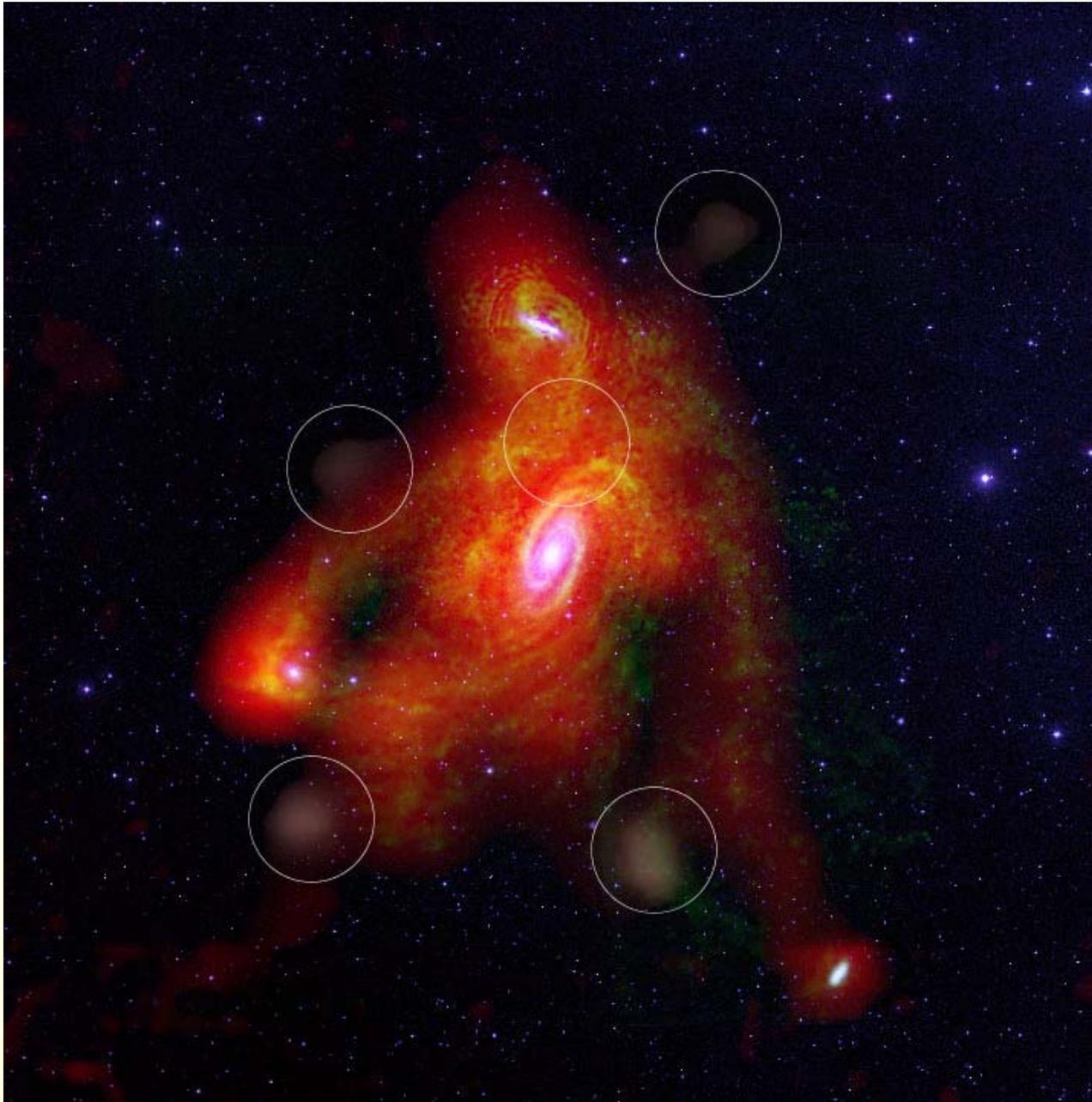


M81/M82/N3077

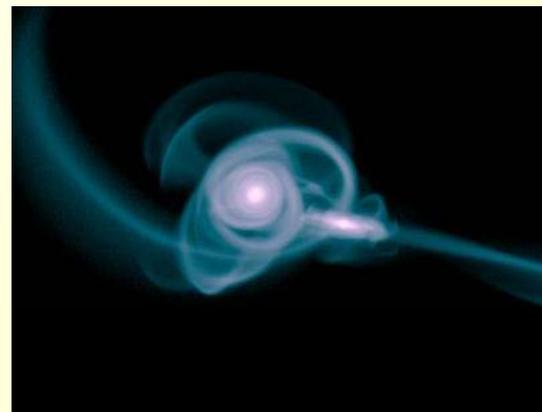
Gaz hydrogène atomique



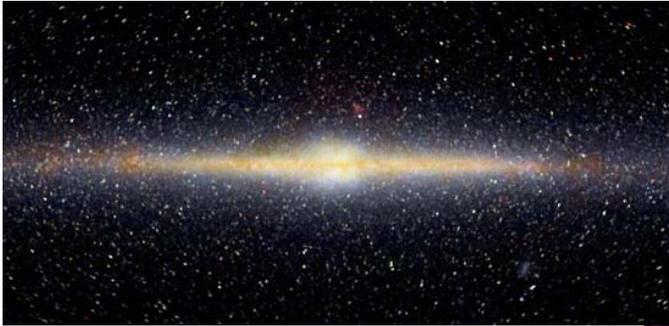
Nuages de gaz autour du système M81-M82



Simulations de la rencontre avec Andromède



Andromède et La Voie Lactée

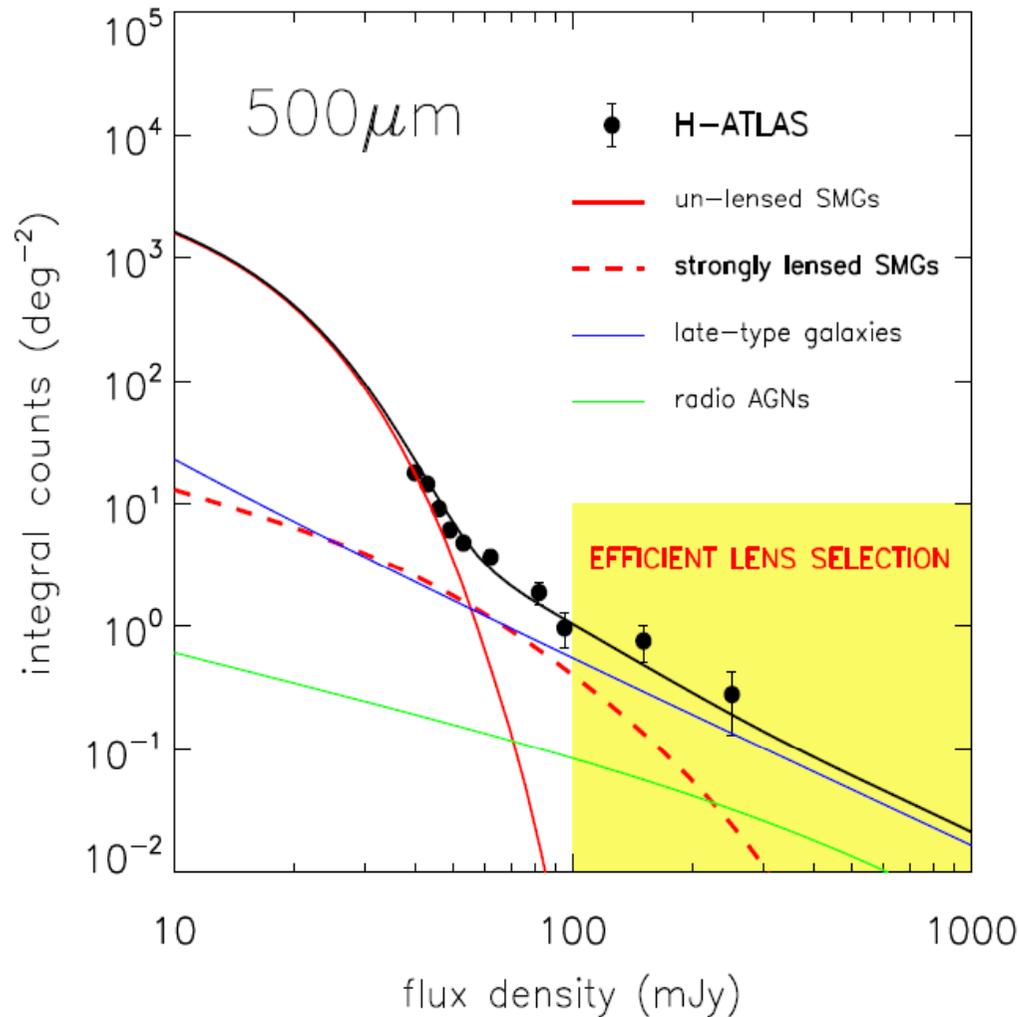


La Voie Lactée
en infra-rouge





Galaxies de fond amplifiées détectées par Herschel



Au-dessus de 100 mJy, les sources
sont des galaxies + lentilles
6 sources détectées en 14 deg^2

Extrapolation > 100 galaxies
en 550 deg^2

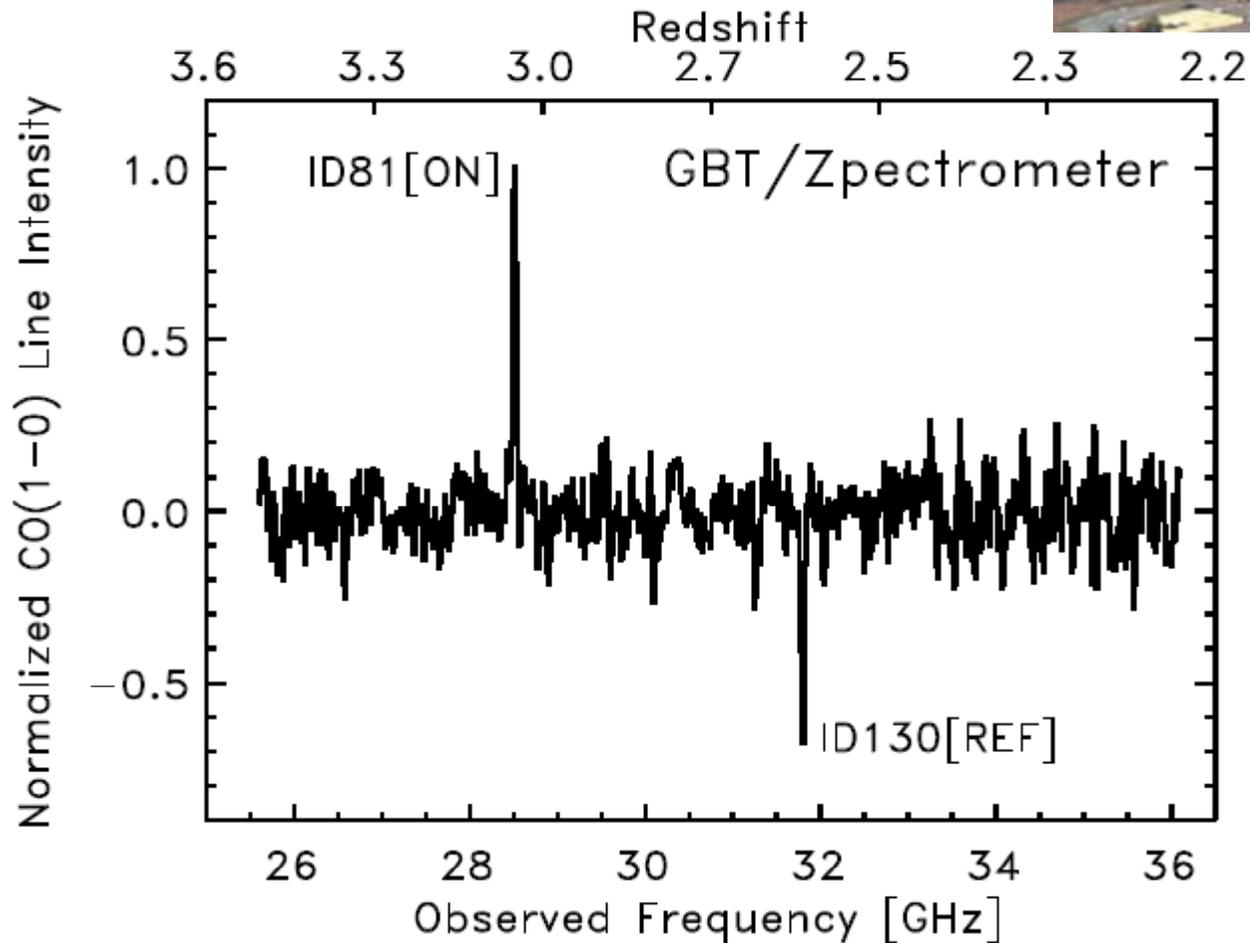
Observations en NIR
→ Révèle la lentille

Amas de galaxies comme télescope gravitationnel



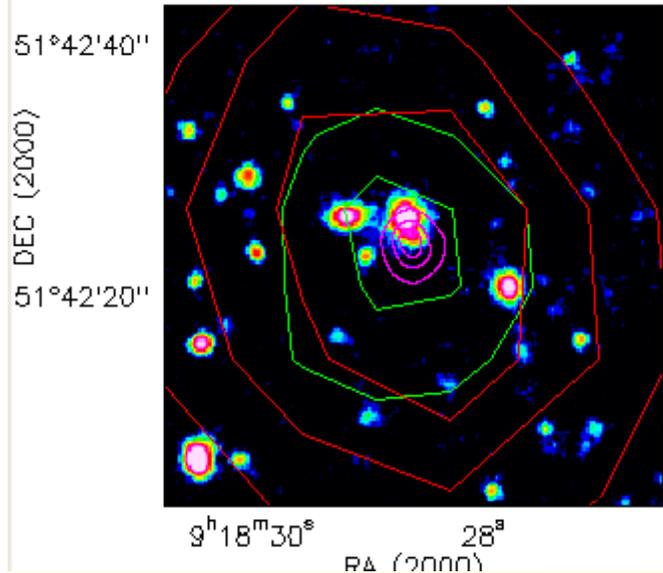
Recherche du redshift avec les raies de CO

Recherche avec le GBT-100m Z-spec
raie de CO(1-0)



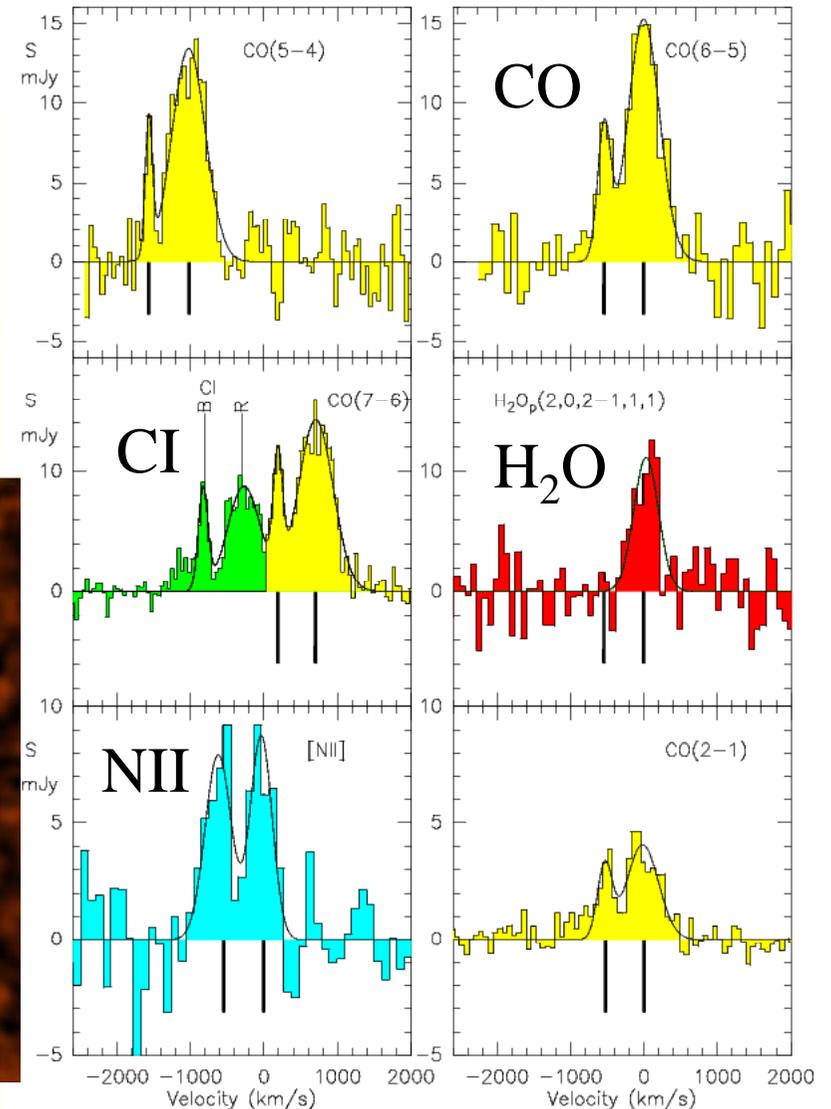
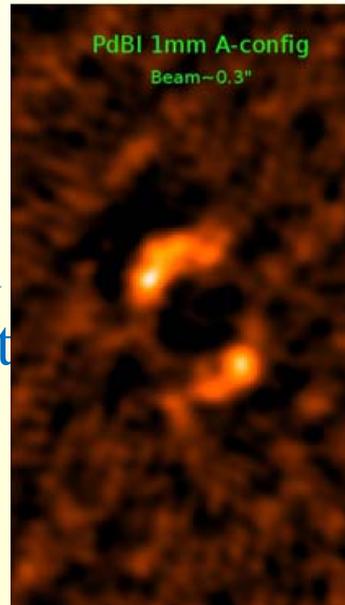
Une galaxie hyper-lumineuse, 1 Ma après le Big-Bang

Image Subaru, spectre lentille Keck

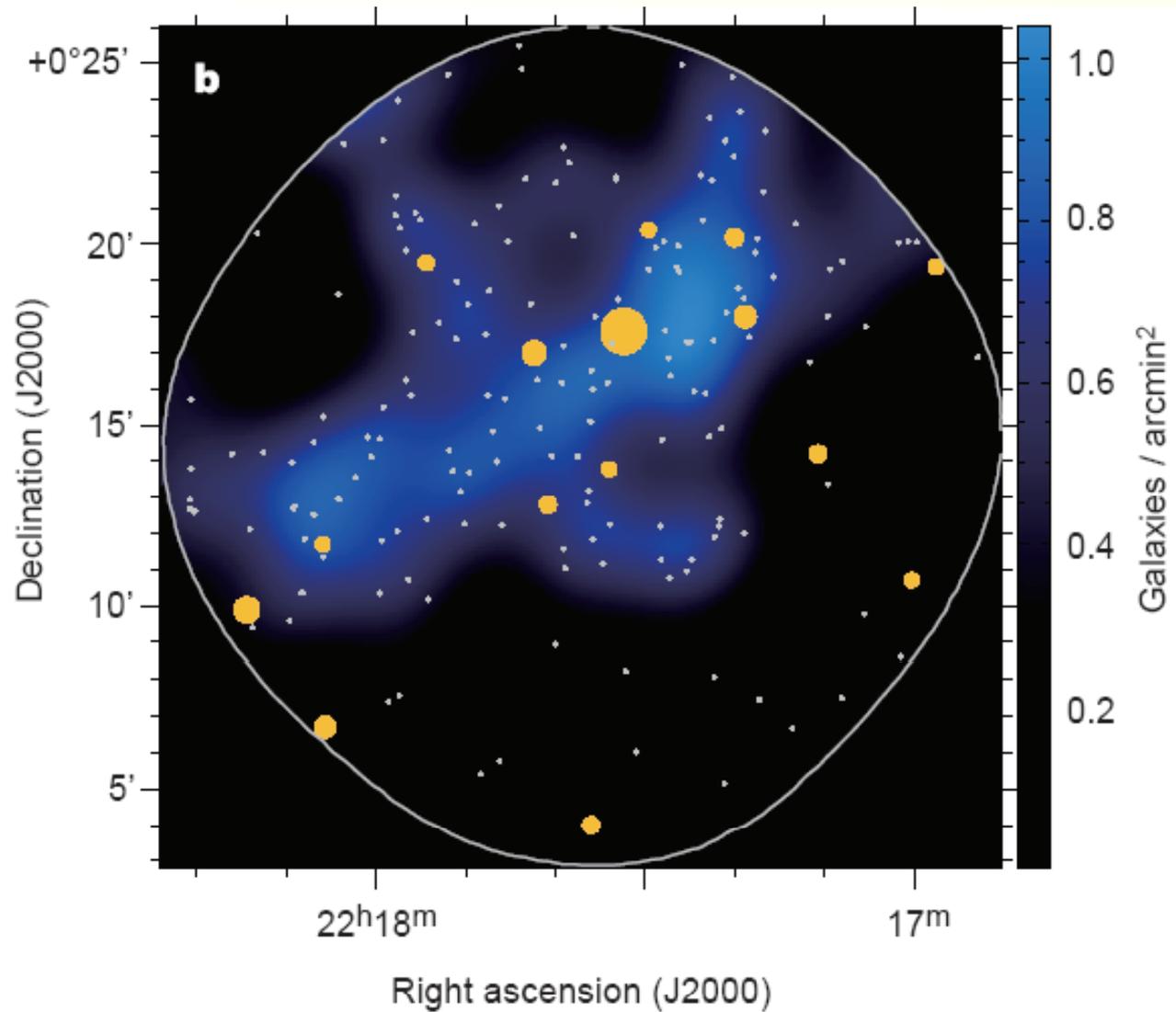


$Z=5.24$

Source détectée par Herschel en infrarouge, puis le redshift déterminé avec un scan de l'IRAM 30m



Starbusts dans les filaments de gaz ionisé



SSA22
Proto-amas de
galaxies
 $z=3.1$

Filament observé
par des galaxies
bleues

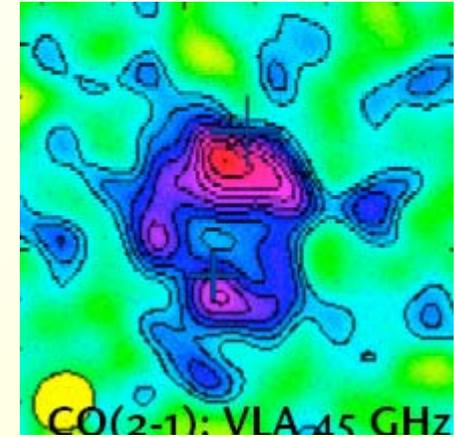
Points jaunes=
Flambées de
formation
d'étoiles

Molécules CO des galaxies $z > 4$

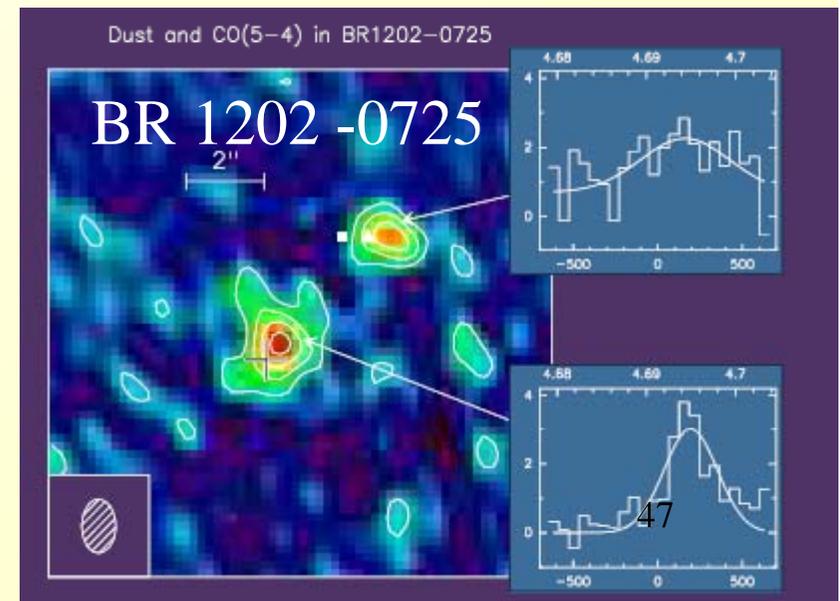
Pratiquement toutes amplifiées !

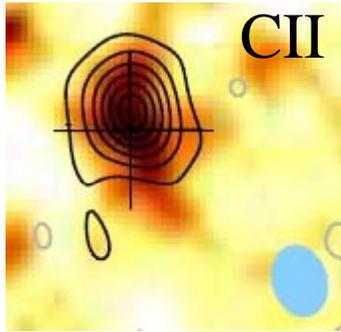
		z
PSS J2322 +1944	QSO	4.12
BRI 1335 -0417	QSO	4.41
BRI 0952 -0115	QSO	4.43
BR 1202 -0725	QSO	4.69
TN J0924 -2201	QSO	5.19
SDSSJ1148+5251	QSO	6.419

+ 6 quasars à $z=6$



PSS J2322 +1944

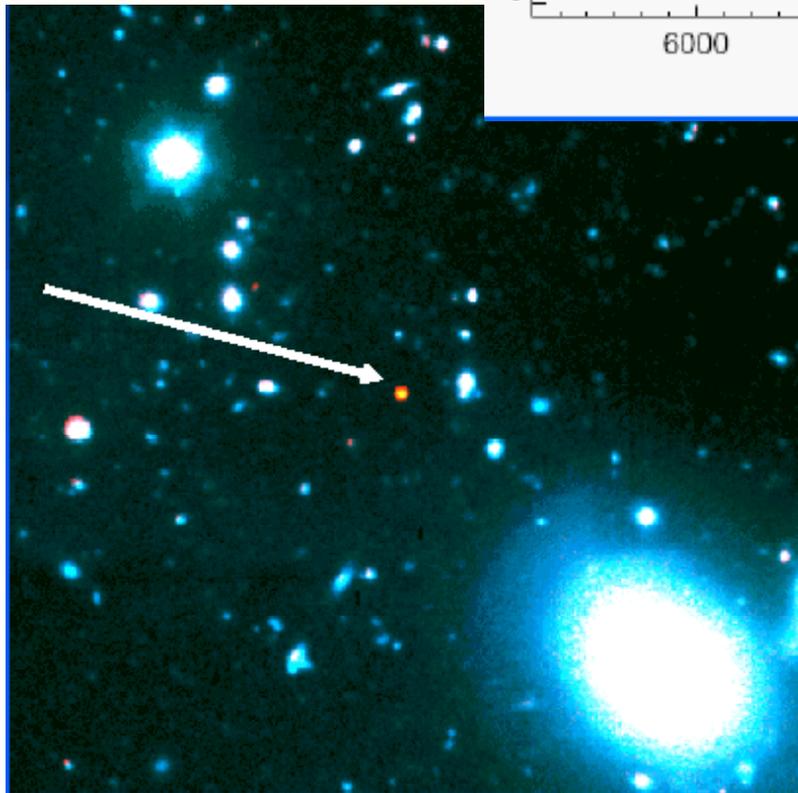
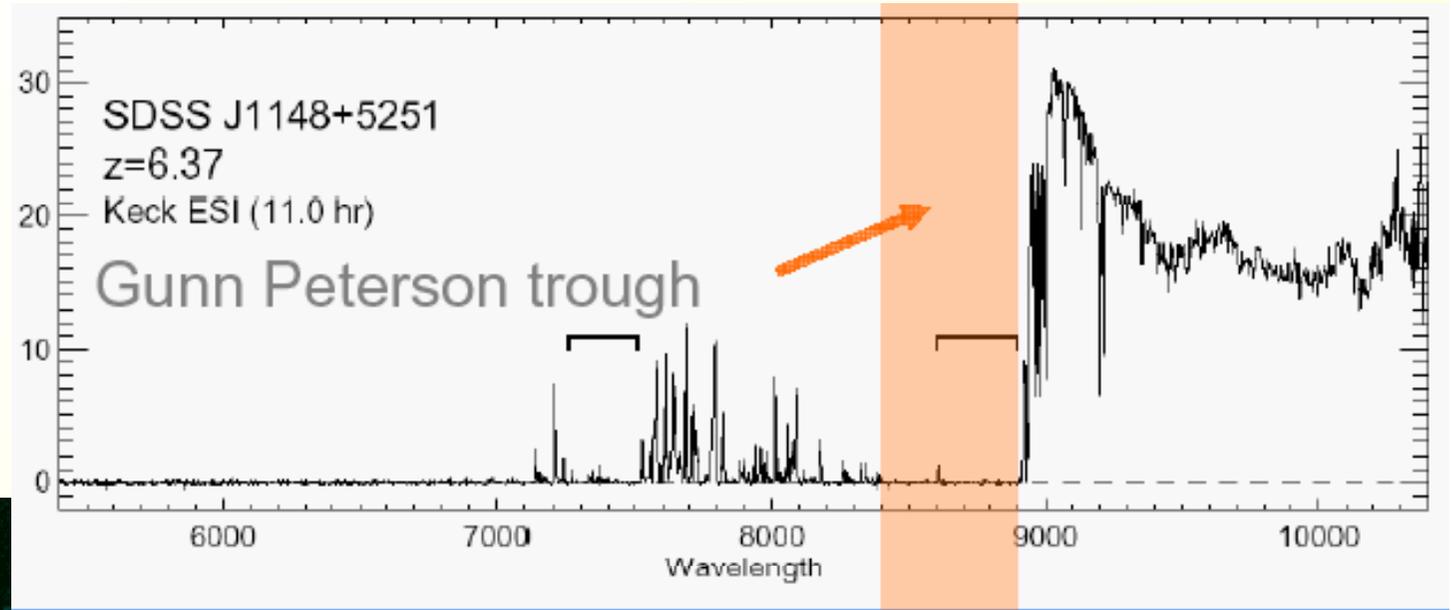




Les QSO les plus distants z=6-7

Lobe 0.3" PdB

Age ~ 1 Ma



$$M_{\text{gaz}} \sim 10^{10} M_{\odot}$$

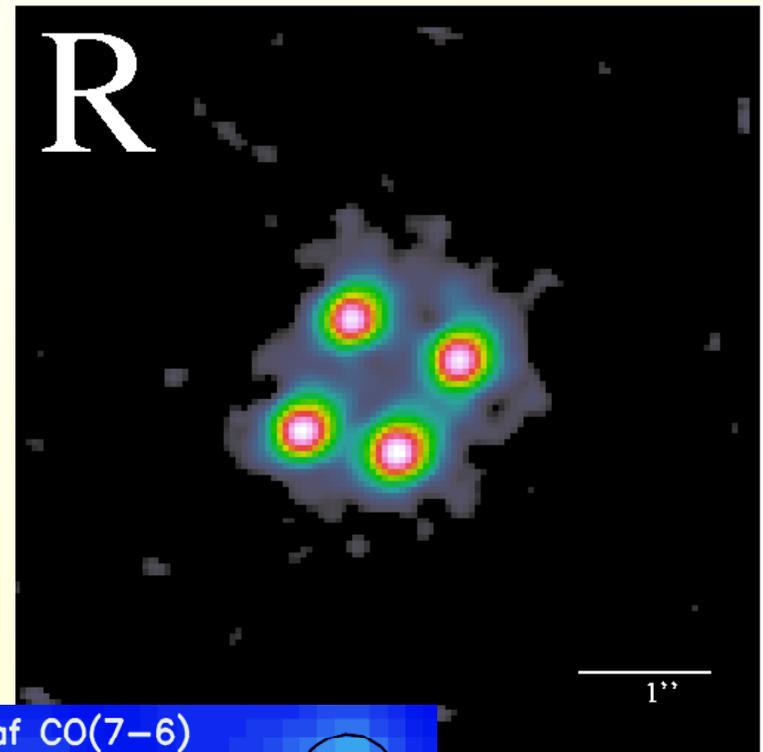
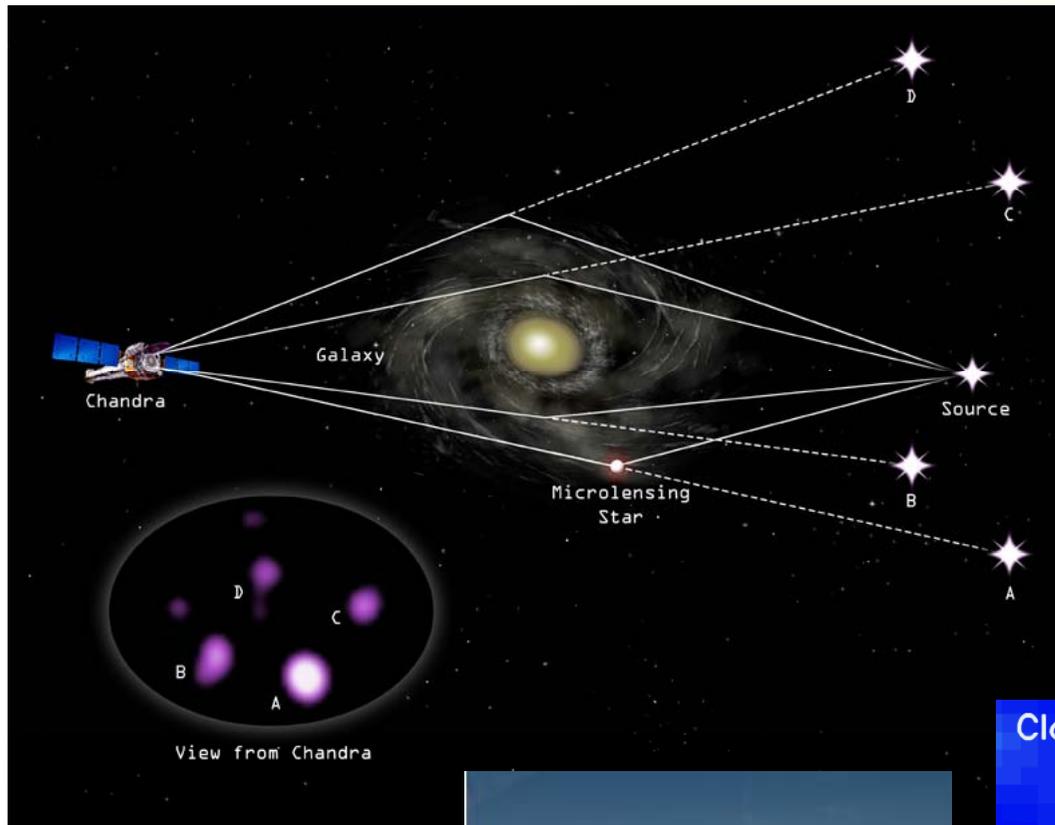
$$M_{\text{trou noir}} = 1.5 \cdot 10^9 M_{\odot}$$

CO, CII

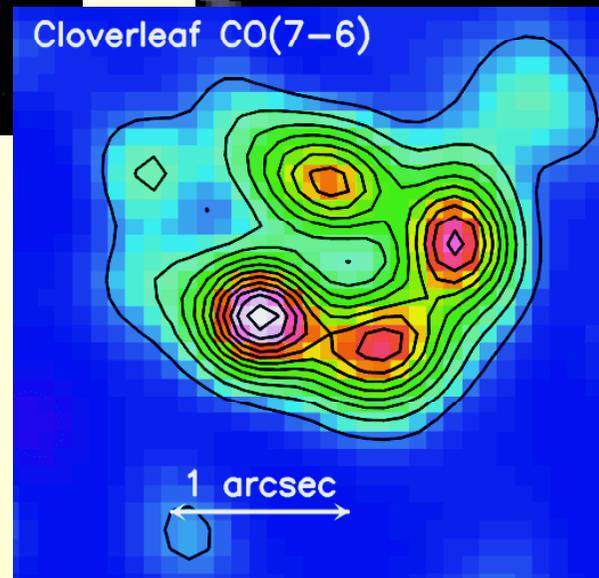
Formation d'étoiles 1000 Mo/an/kpc²

+ Quasar à z=7.1

Le quasar trèfle à quatre feuilles

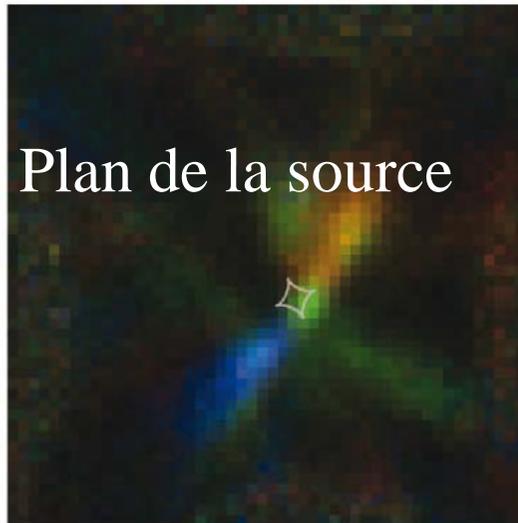


IRAM
Plateau de
Bure
Interféromètre

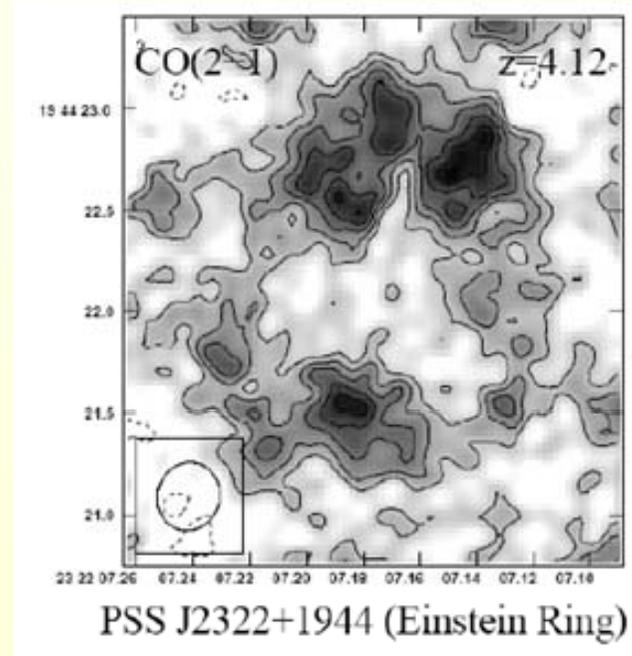


Gaz Moléculaire dans un anneau d'Einstein

$z=4.12$ + Trou noir $M_{\text{trou noir}} = 1.5 \cdot 10^9 M_{\odot}$, 30 fois trop massif



8.5 kpc



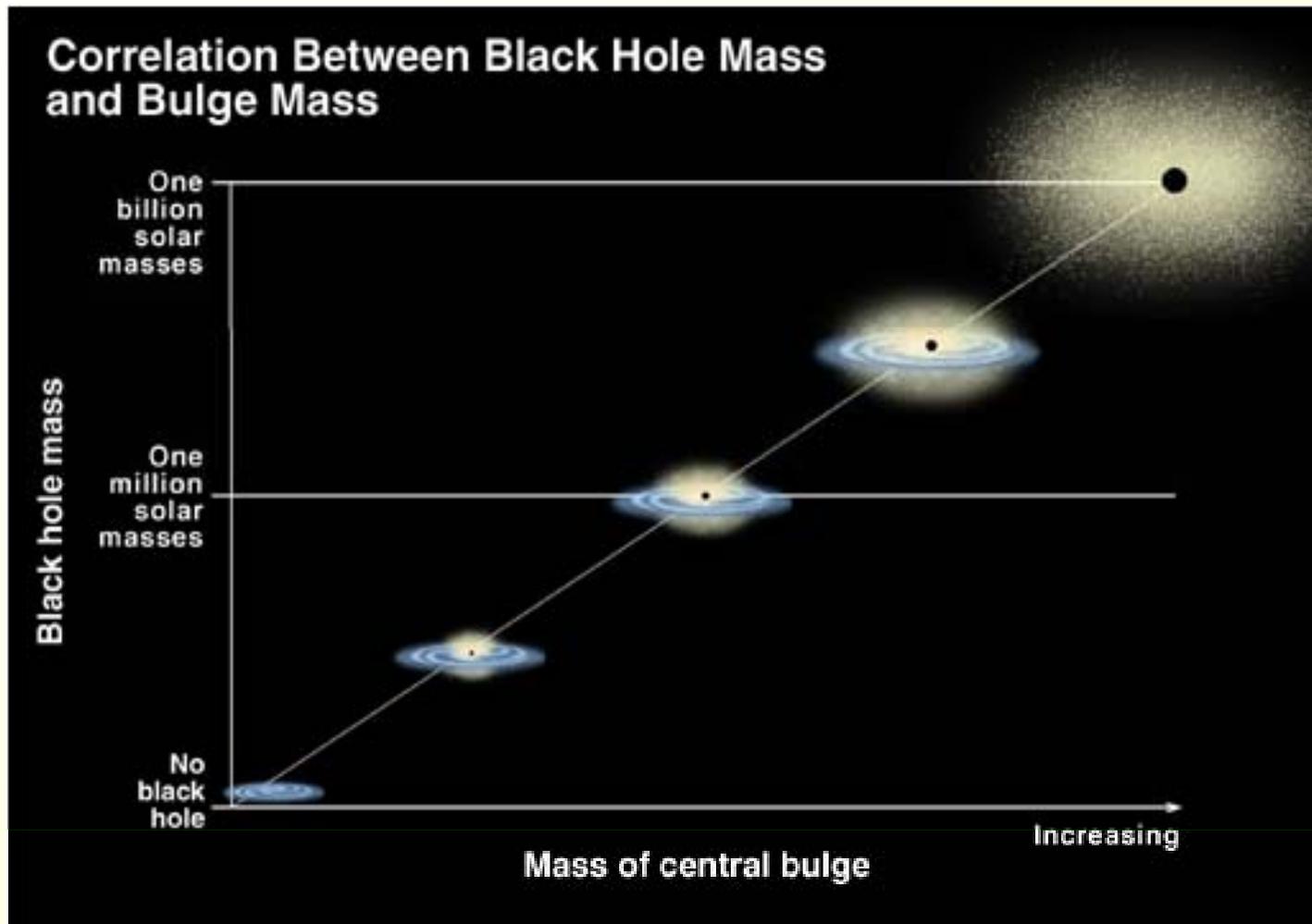
« Œil Cosmique »



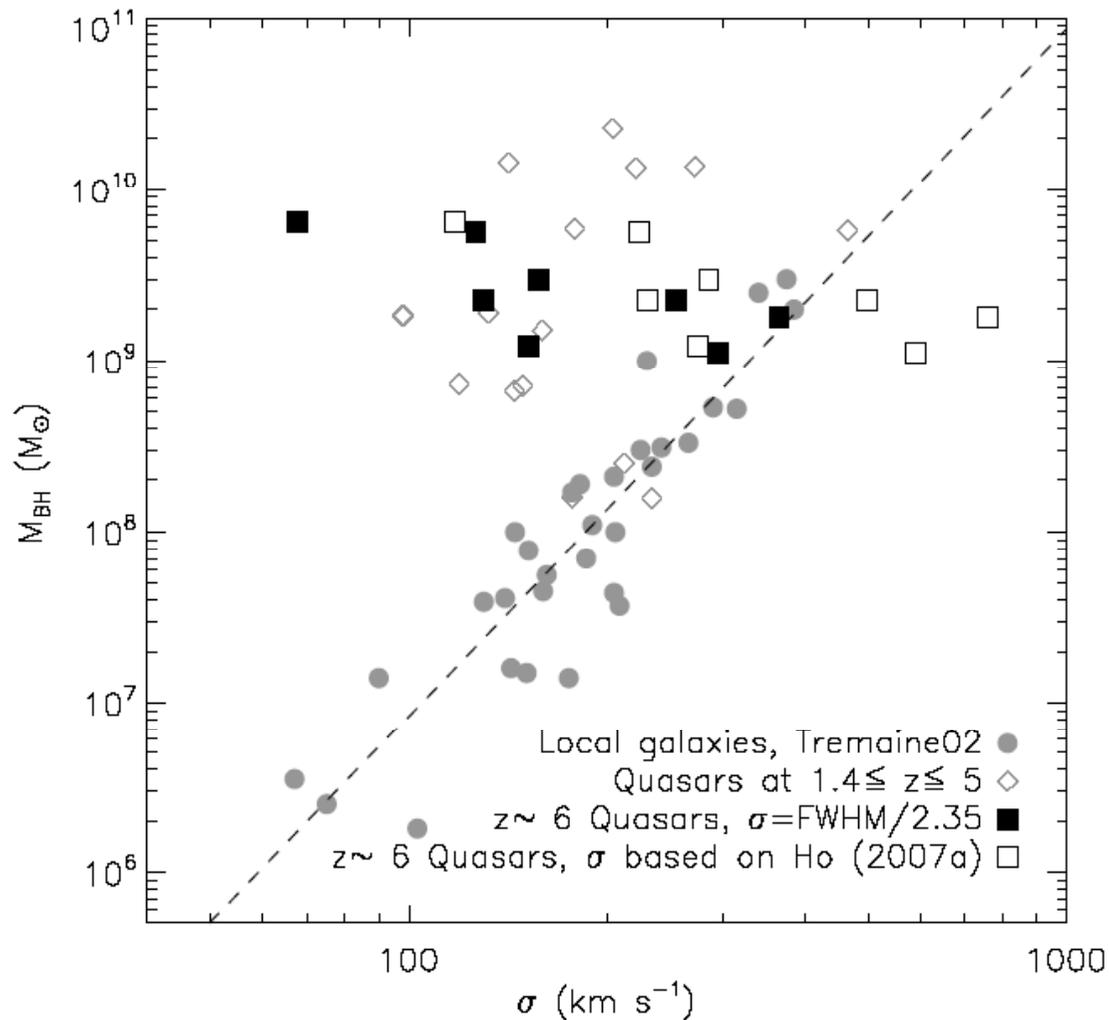
$z=3.07$ IRAM: CO(3-2)
 $M_{H2} = 2.4 \cdot 10^9 M_{\odot}$
 $M^* = 6 \cdot 10^9 M_{\odot}$ 50

Co-habitation trou noir - Galaxie

Qu'en est-il au début de l'Univers?



$M_{\text{trou noir}}$ – Masse bulbe (ou σ)



Trous noirs précoces?

QSO à $z=6$

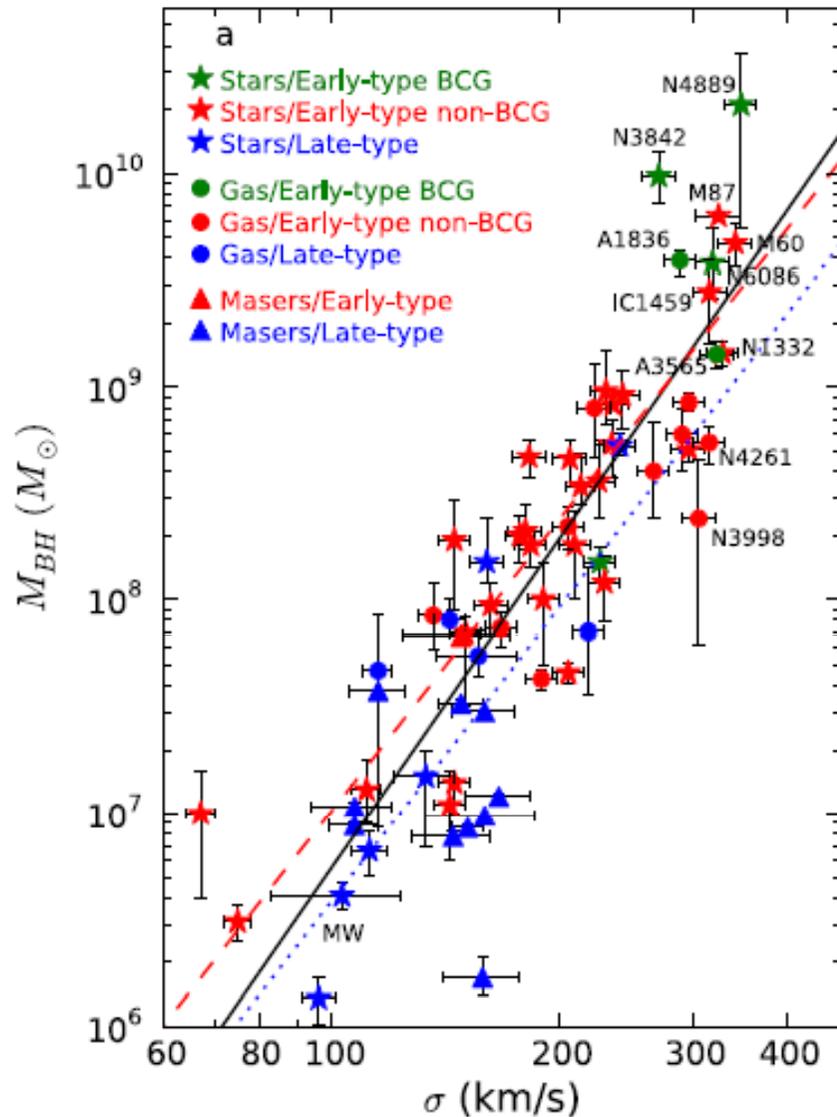
→ La masse des trous noirs est plus grande que prévue

Mais:

Inclinaison incertaine

→ ALMA pourra donner la morphologie, et les inclinaisons

Masse du trou noir et masse du bulbe



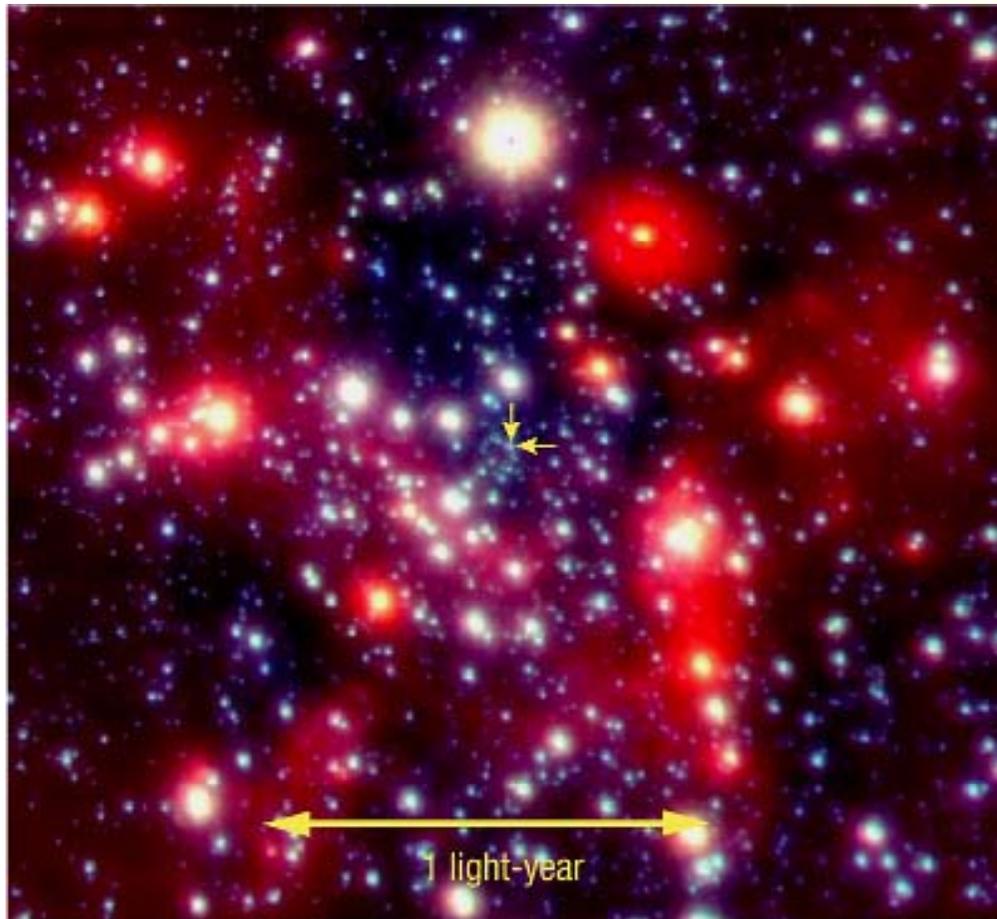
Les deux masses sont proportionnelles $\sim 1/700$

Parfois, on arrive un peu au-dessus, dans les amas de galaxies

Galaxies cannibales au centre

Avalent le gaz chaud avant la formation d'étoiles?

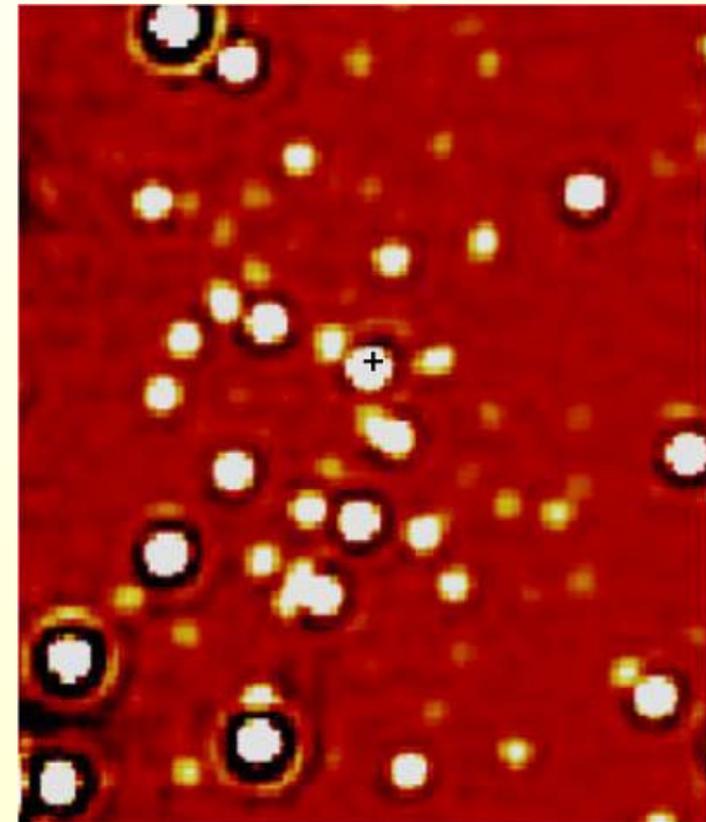
Astrométrie et mouvements propres au centre galactique



The Centre of the Milky Way
(VLT YEPUN + NACO)

ESO PR Photo 23a/02 (9 October 2002)

©European Southern Observatory



The Centre of the Milky Way (detail)
(VLT YEPUN + NACO)

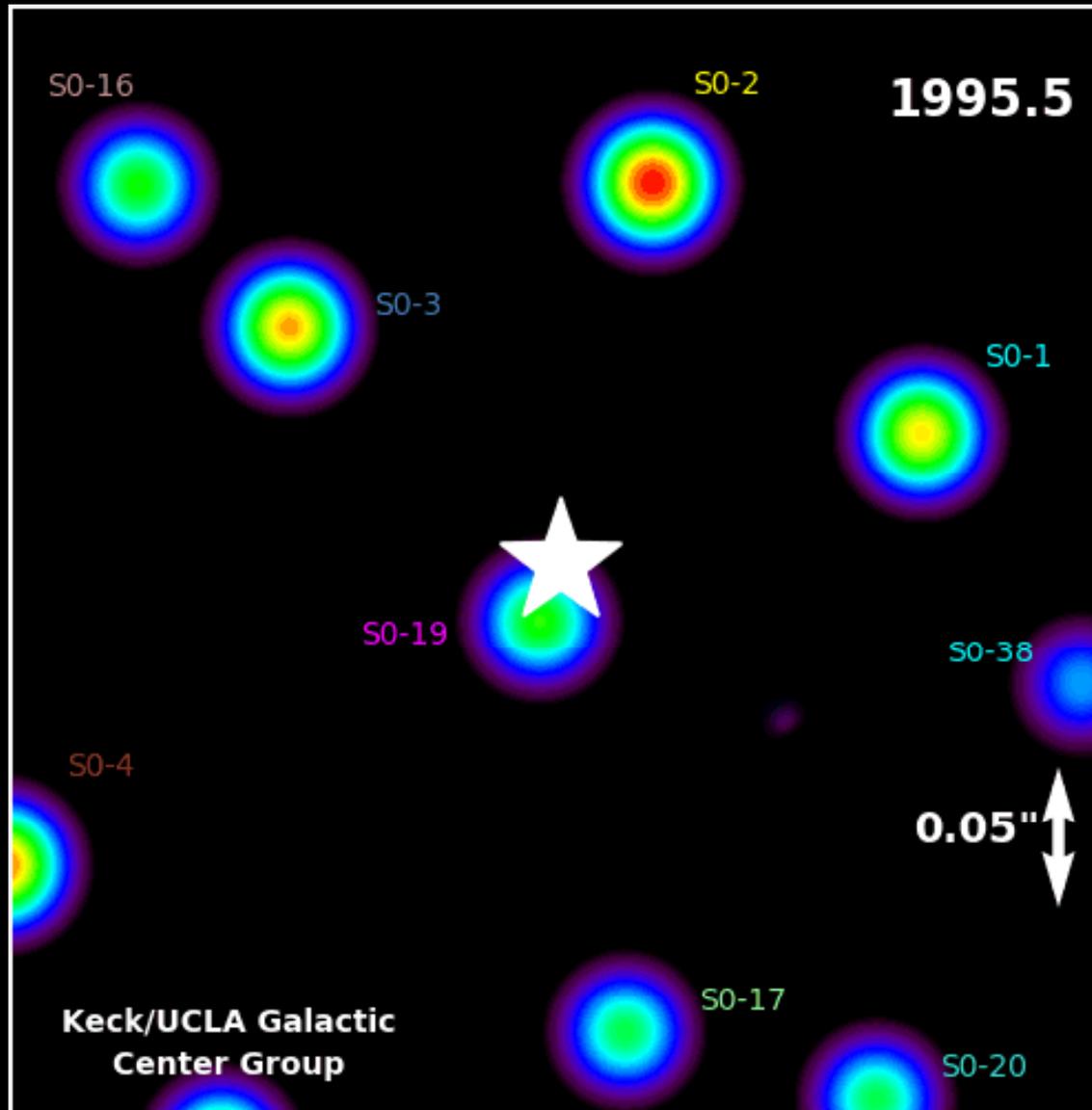
ESO PR Photo 23b/02 (9 October 2002)

©European Southern Observatory

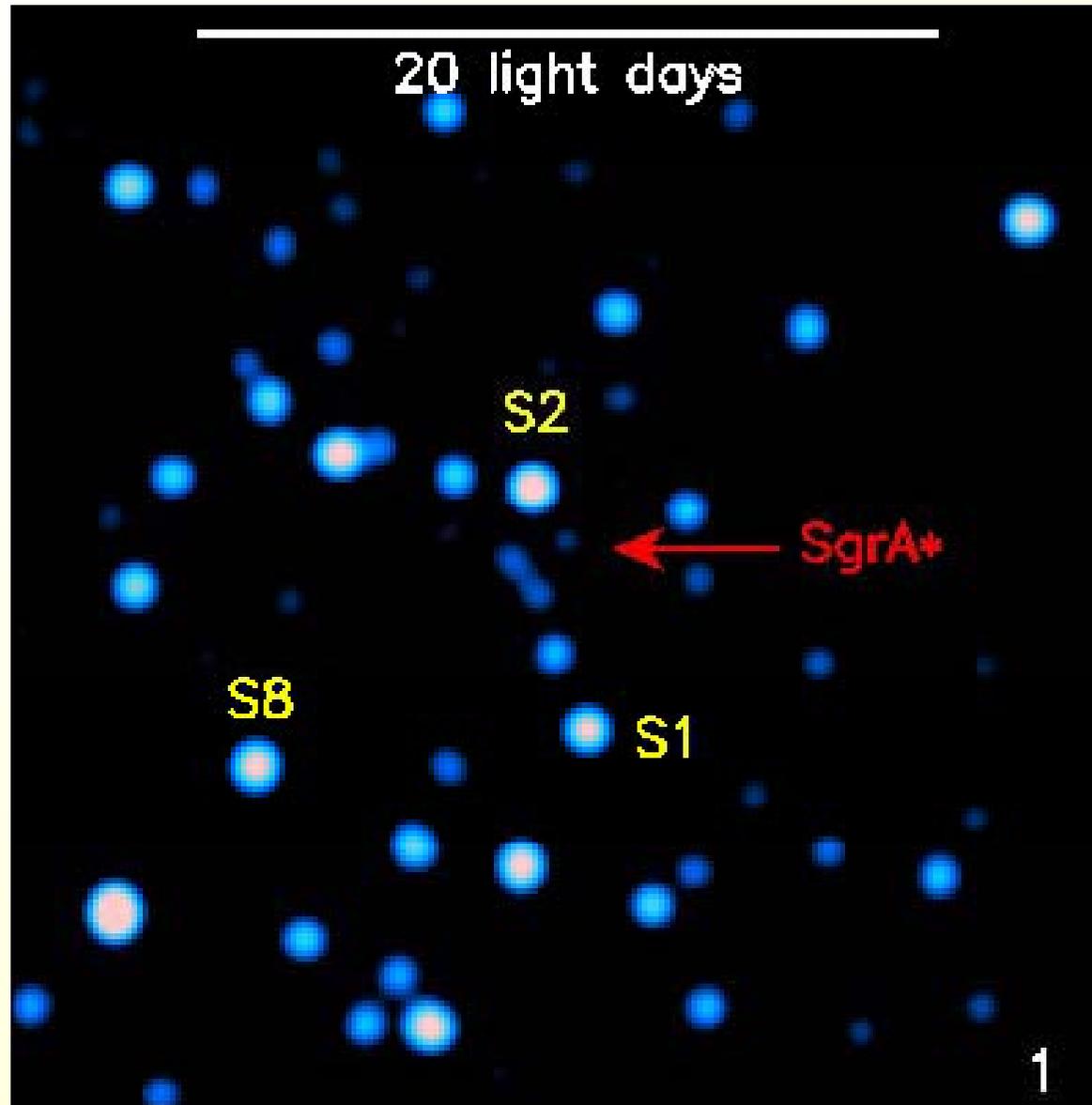


34

Animation du mouvement des étoiles, dans le centre de la Voie Lactée

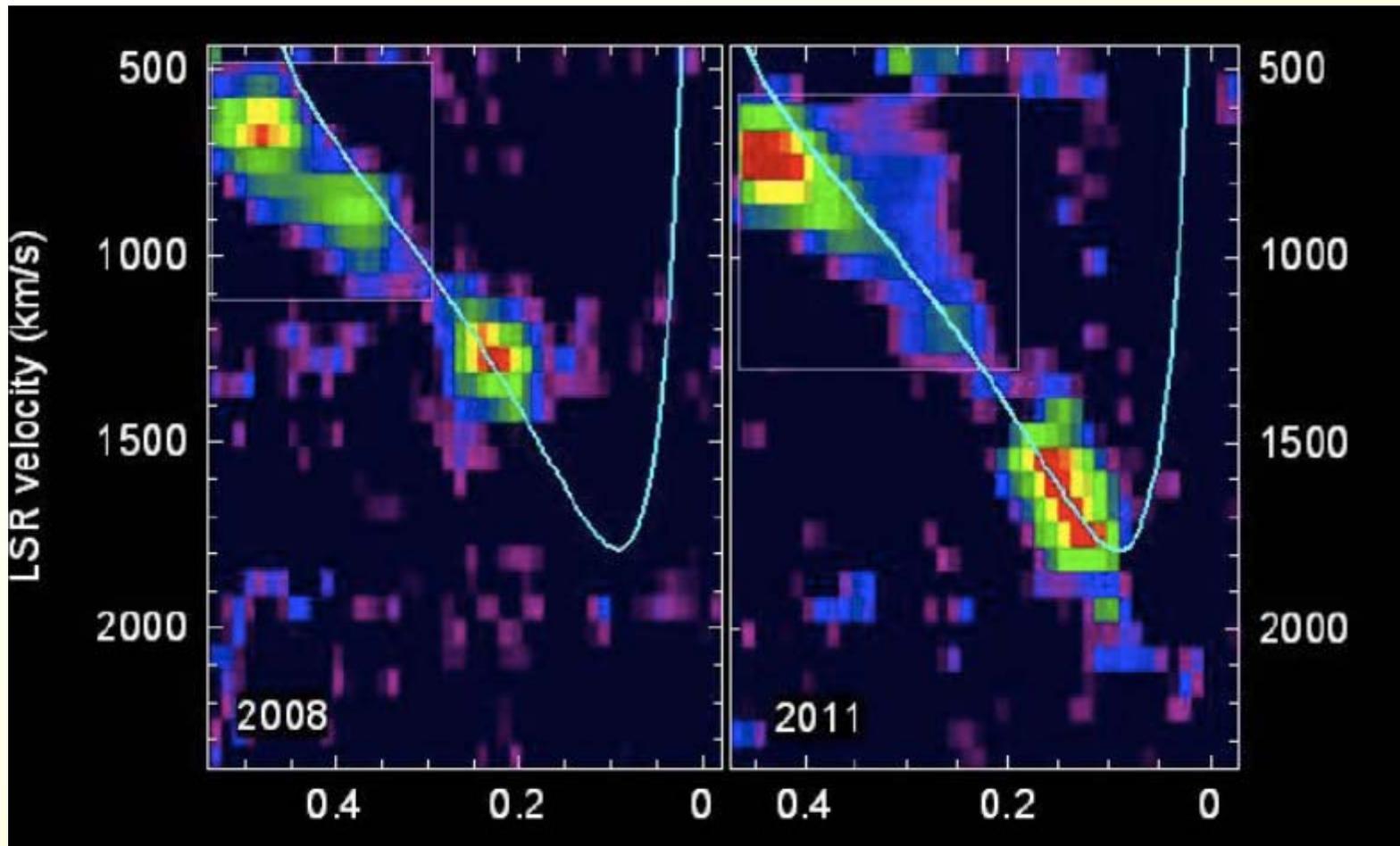


Sursaut Infrarouge du trou noir de la Galaxie



1.7microns, NACO, VLT, 30min, May 2003

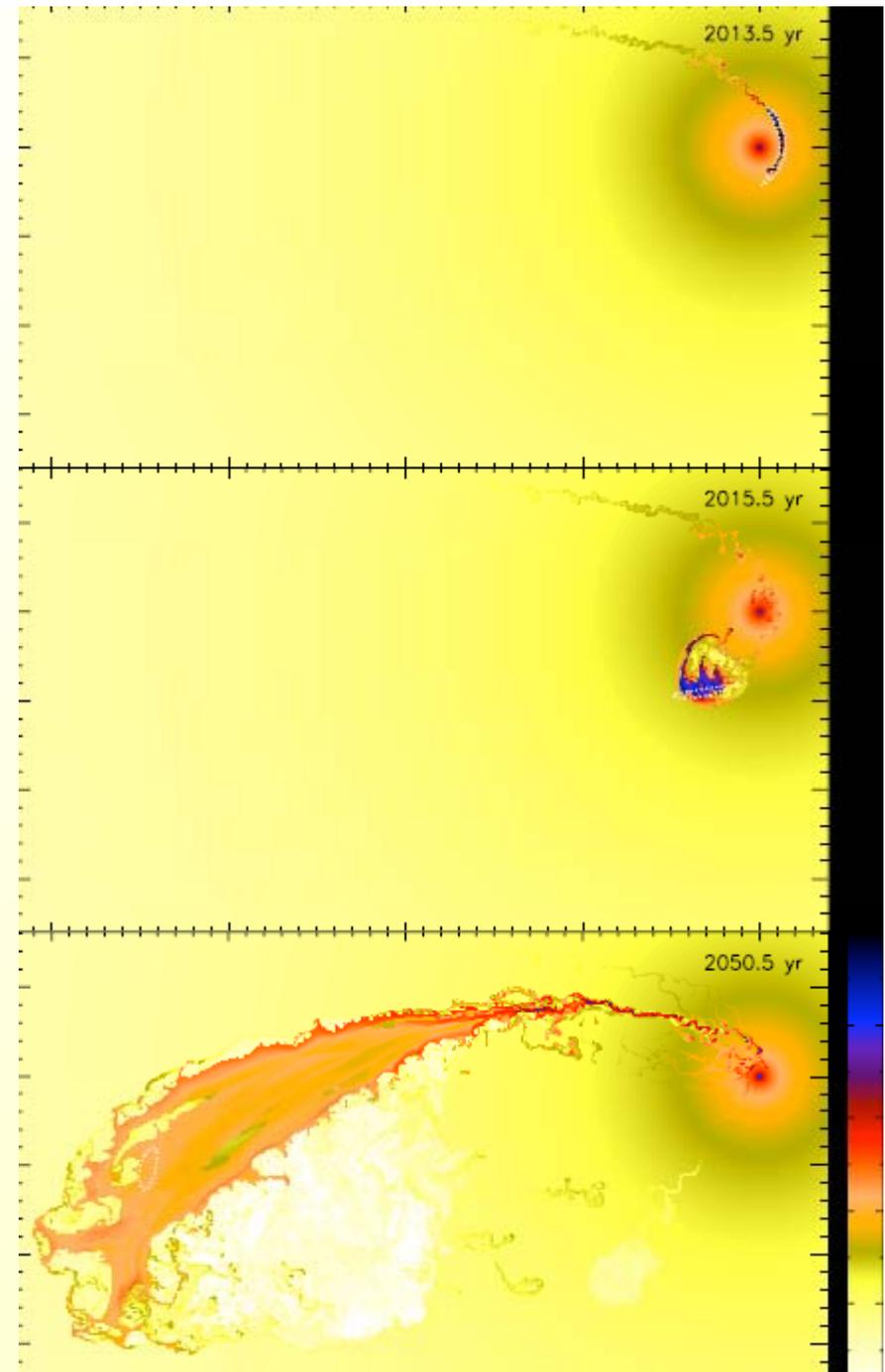
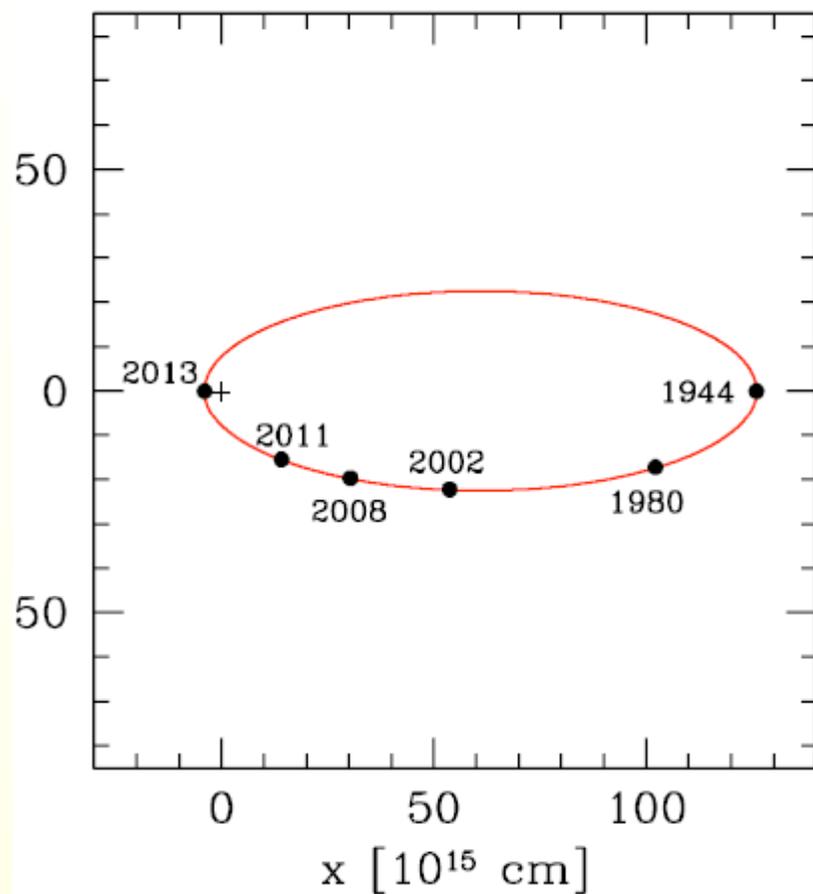
Découverte d'un nuage de gaz en 2011



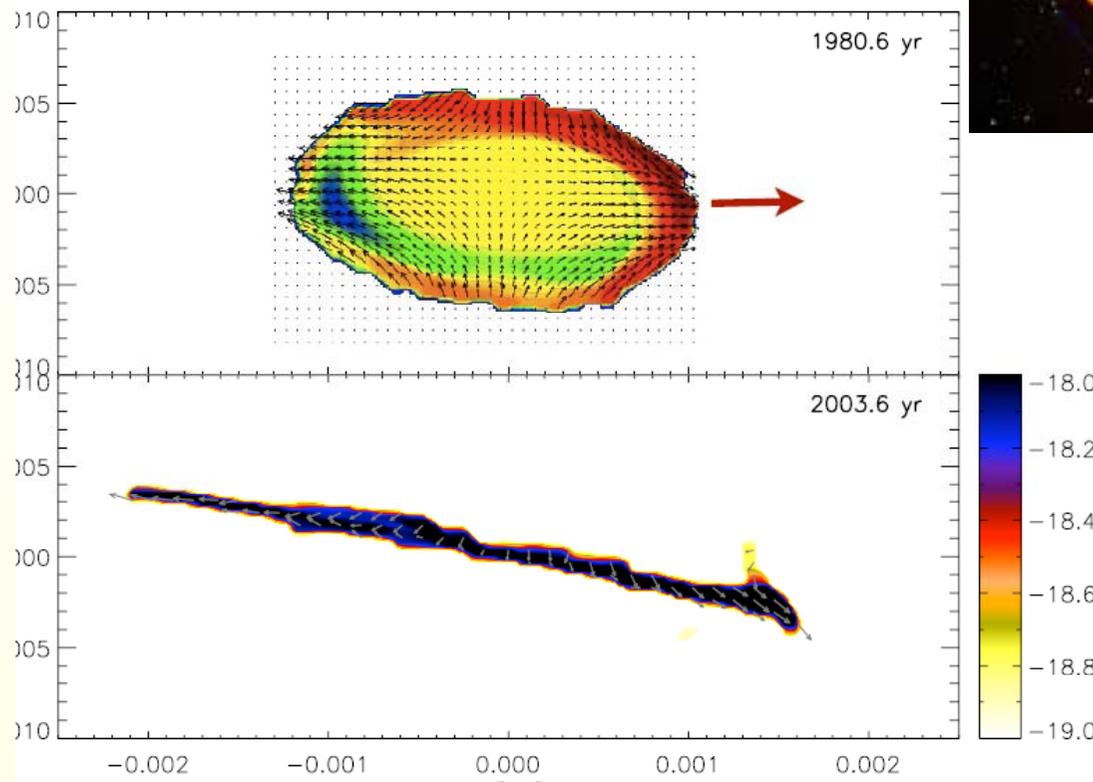
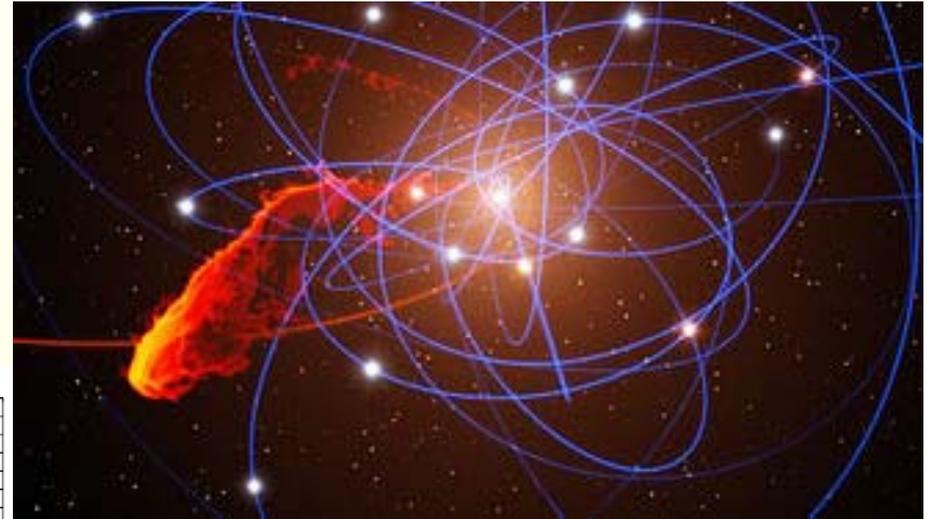
Distance au trou noir en arcsec (=0.1 al)

Orbite du nuage de gaz ($10^{-5} M_{\odot}$)

137 ans de période

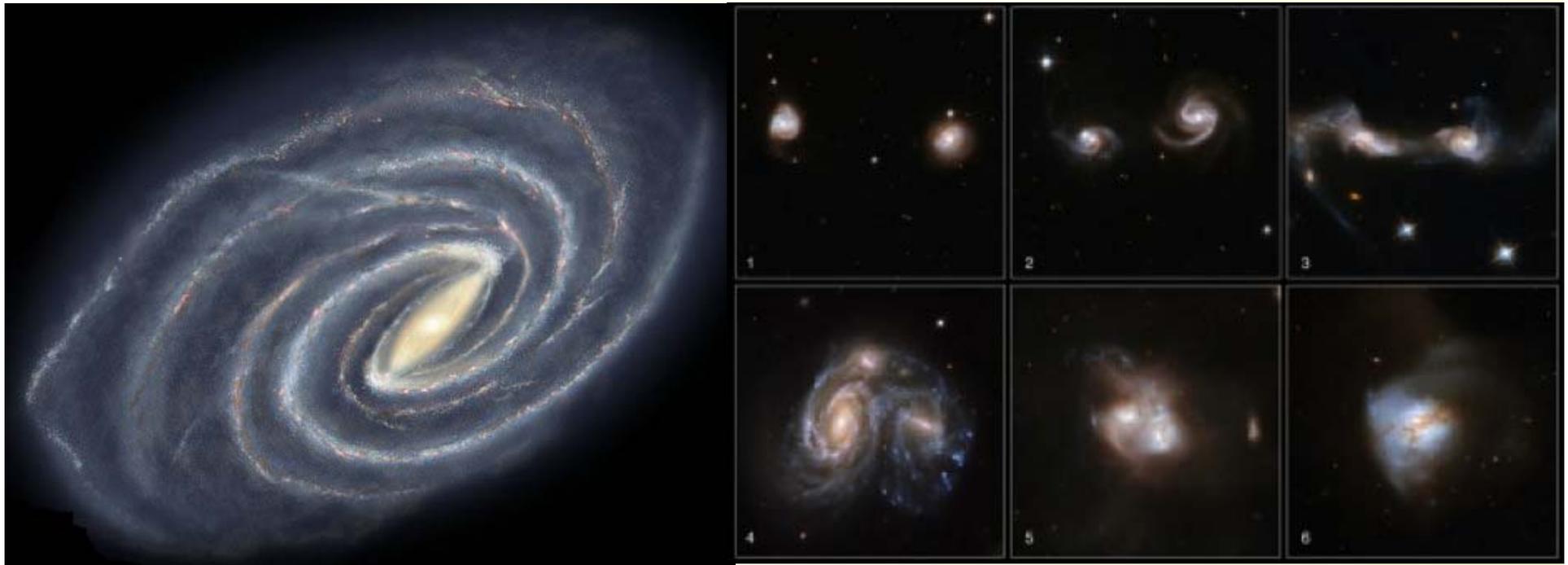


Comment le gaz est arrivé?



Perspectives pour la Voie lactée...

Dans quelques 3 Ma



Fusion des trous noirs

