

Starbursts

et

noyaux actifs

Messier 82 et son vent galactique



distance: 10 millions d'années-lumière

Messier 87 et son jet radio



distance: 60 millions d'an.-l.

Les monstres cosmiques jouent-ils un rôle important dans la genèse des galaxies ?

Vue d'artiste de la Voie lactée



Collège de France

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



Starbursts

et

noyaux actifs



Starbursts

et

noyaux actifs





Starbursts

et

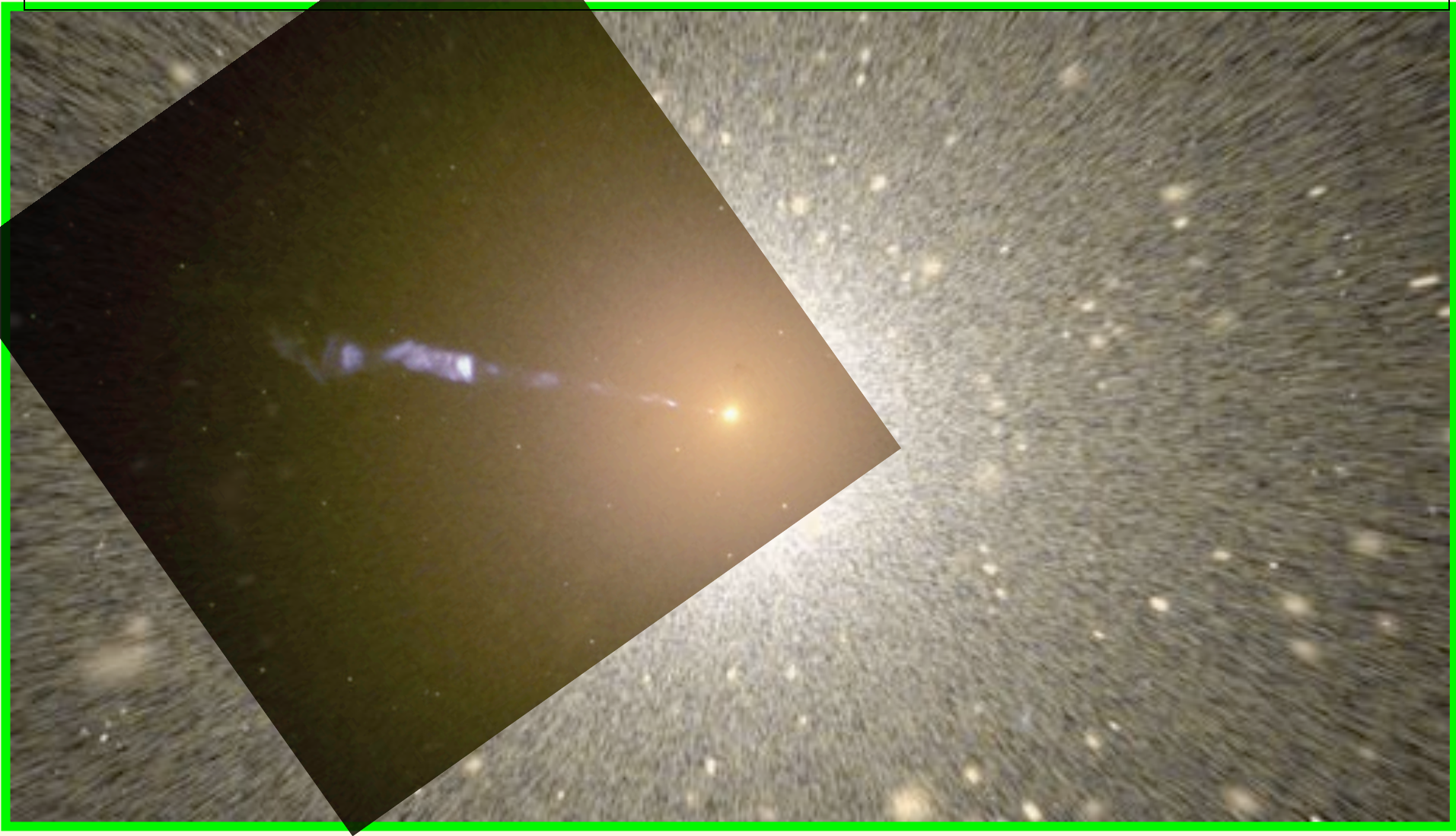
noyaux actifs



Starbursts

et

noyaux actifs



Starbursts

et

noyaux actifs

Messier 82 et son vent galactique



distance: 10 millions d'années-lumière



Messier 87 et son jet radio

distance: 60 millions d'an.-l.

Les monstres cosmiques jouent-ils un rôle important dans la genèse des galaxies ?

Vue d'artiste de la Voie lactée



Collège de France

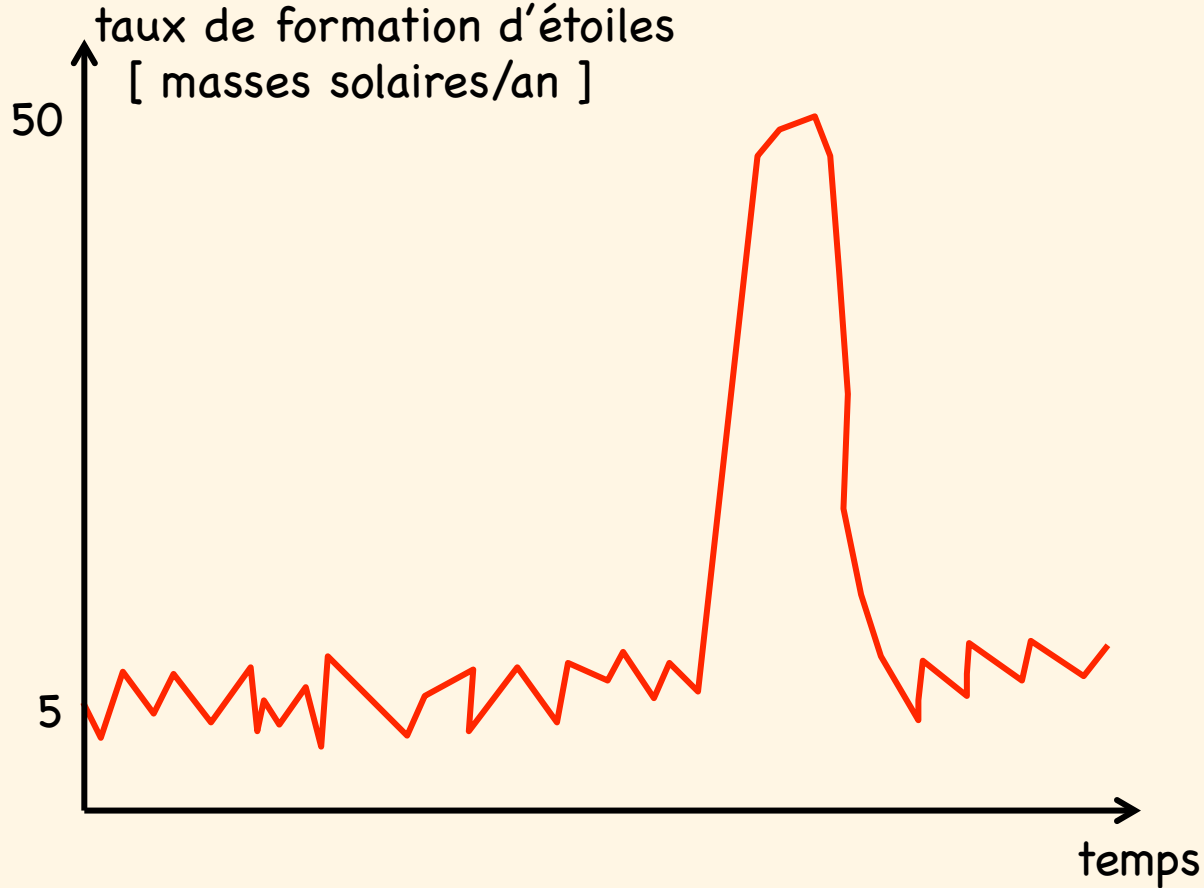
L'histoire à rebonds des **starbursts** et des **noyaux actifs**

1. au commencement... on les voyait comme des monstres cosmiques, rares
2. puis **phases courantes** des galaxies : formation étoiles et trous noirs...
3. ensuite à nouveau **phases rares** de faible influence globale
4. demain (spéculatif) ? deux phases à l'origine des galaxies !

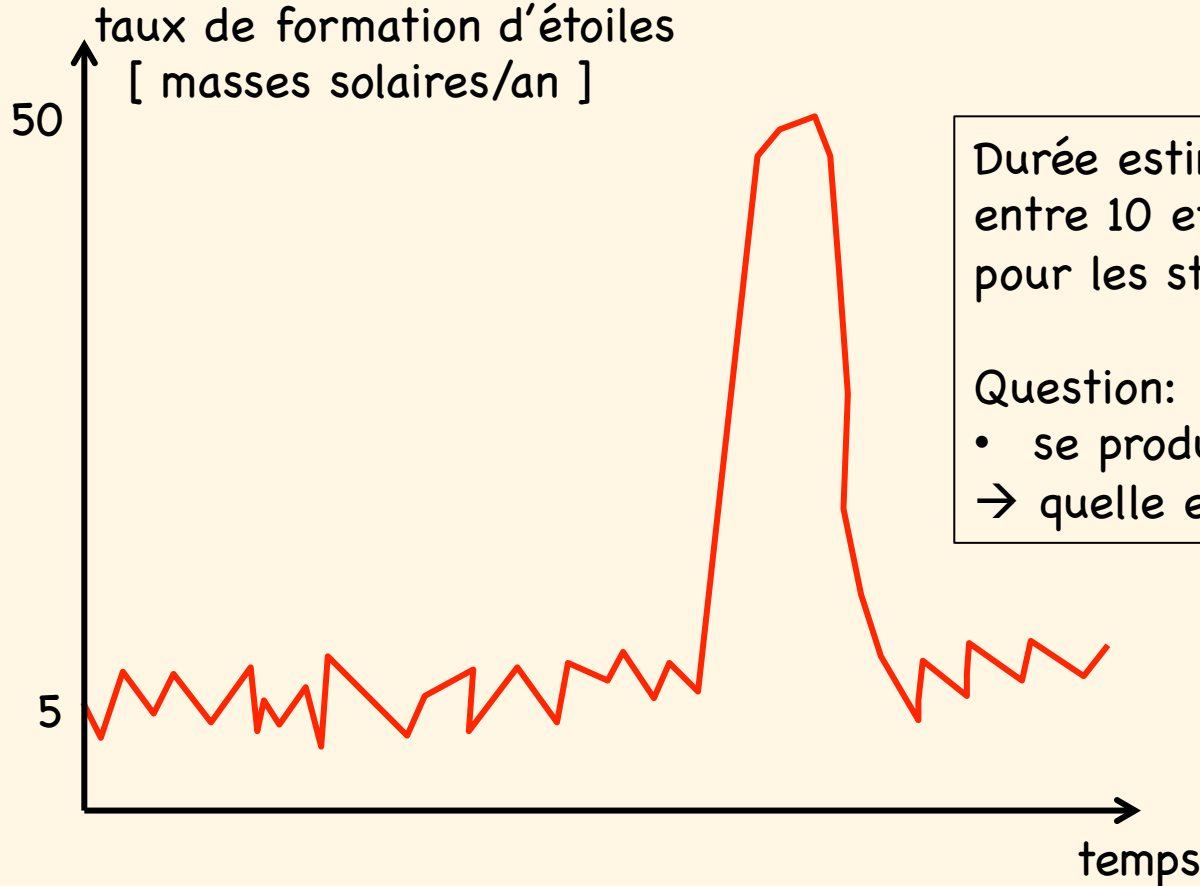


quelle est la définition d'un starburst ?

Le starburst ou flambée de formation d'étoiles: une phase atypique de formation d'étoiles plus intense



Le starburst ou flambée de formation d'étoiles: une phase atypique de formation d'étoiles plus intense



Durée estimée / argument statistique:
entre 10 et 100 millions d'années
pour les starbursts et les noyaux actifs

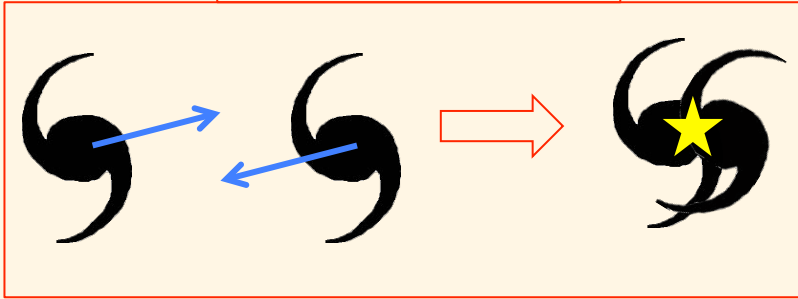
Question:

- se produisent-ils souvent ?
- quelle est leur cause ?

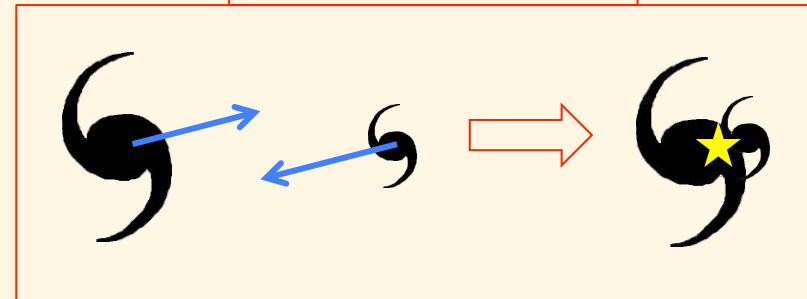
Définition d'un starburst:
épisode de formation d'étoiles
> 2-3 x histoire moyenne

Les causes possibles de la phase "starburst » (et noyau actif)

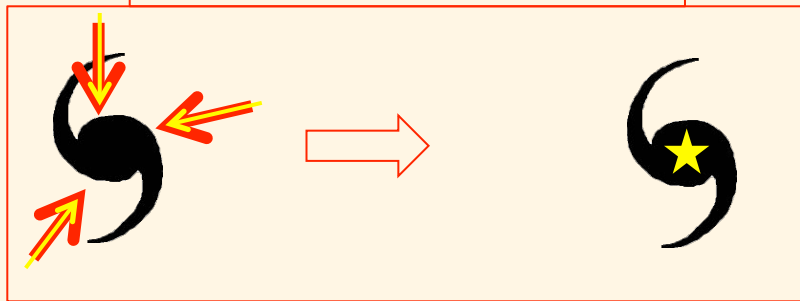
1-fusion majeure



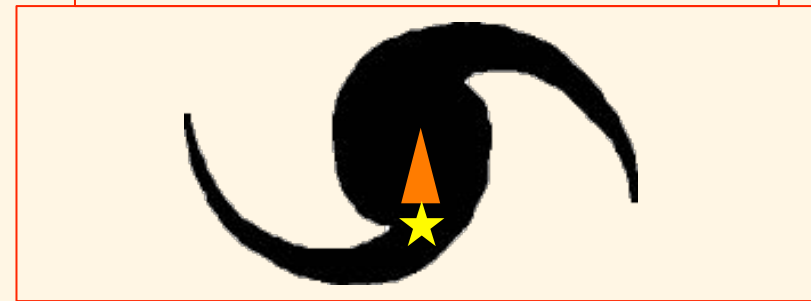
2-fusion mineure



3-accrétion + instabilité



4-compression par noyau actif



5- ??? Une origine inconnue ???

Définition d'un starburst:
épisode de formation d'étoiles
> 2-3 x histoire moyenne

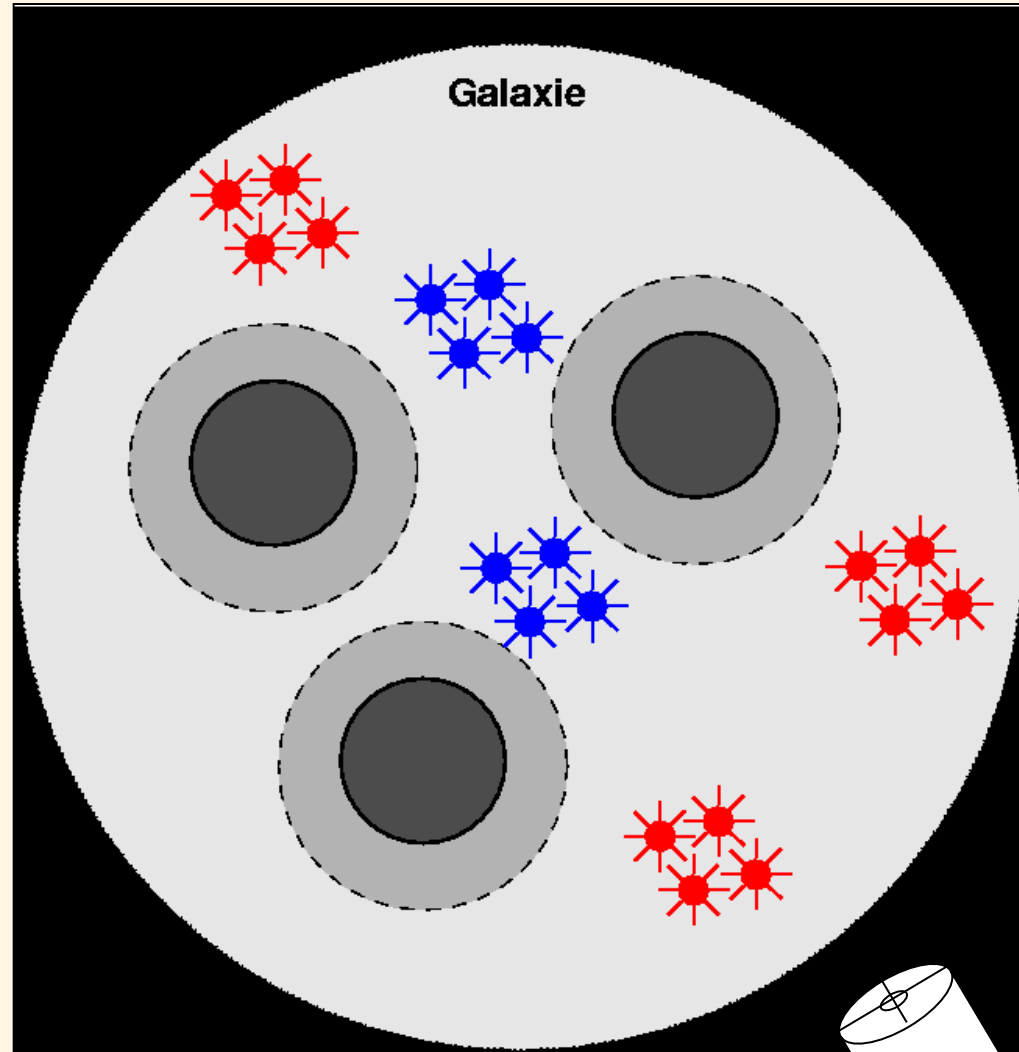
Dans tous les cas une forte
compression du milieu
interstellaire allume un
starburst et un noyau actif

Les phases starburst et noyau actif
naissent d'une densité très élevée du milieu interstellaire
qui entraîne une conséquence systématique:

les starbursts et les noyaux actifs se cachent très bien...

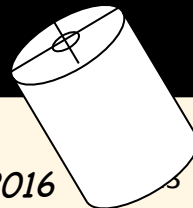
comprendre ces deux phases suppose donc que l'on puisse voir
à travers les murs...

Distribution d'énergie rayonnée par une galaxie



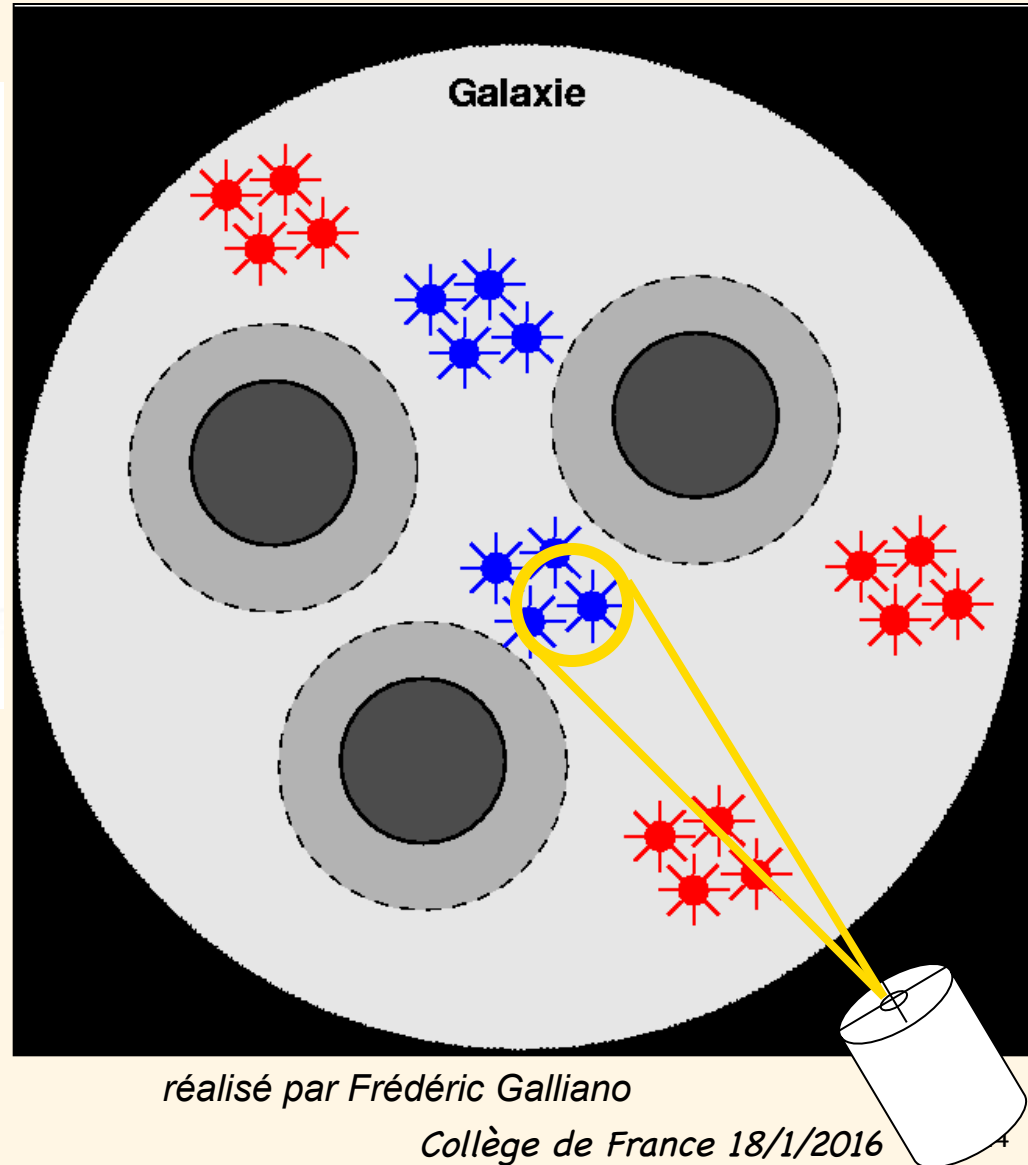
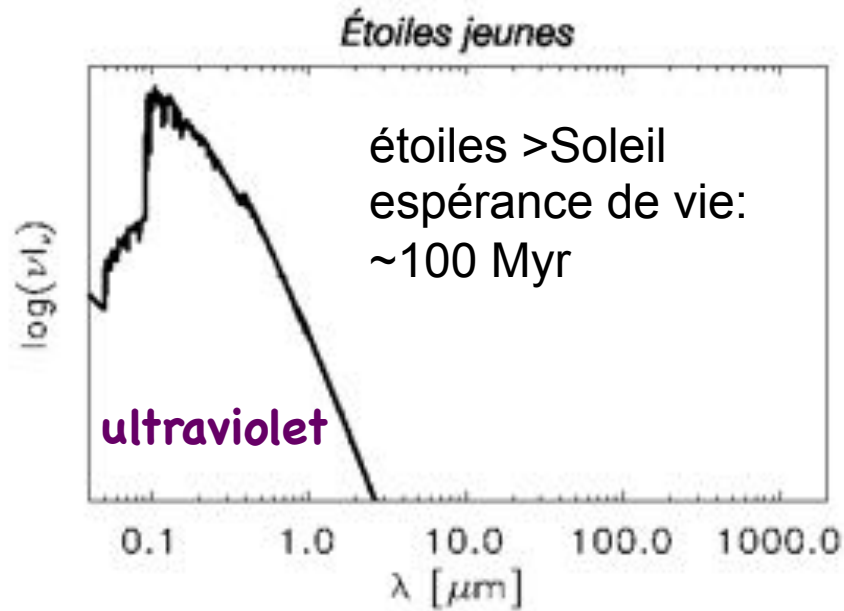
réalisé par Frédéric Galliano

Collège de France 18/1/2016



Distribution d'énergie rayonnée par une galaxie

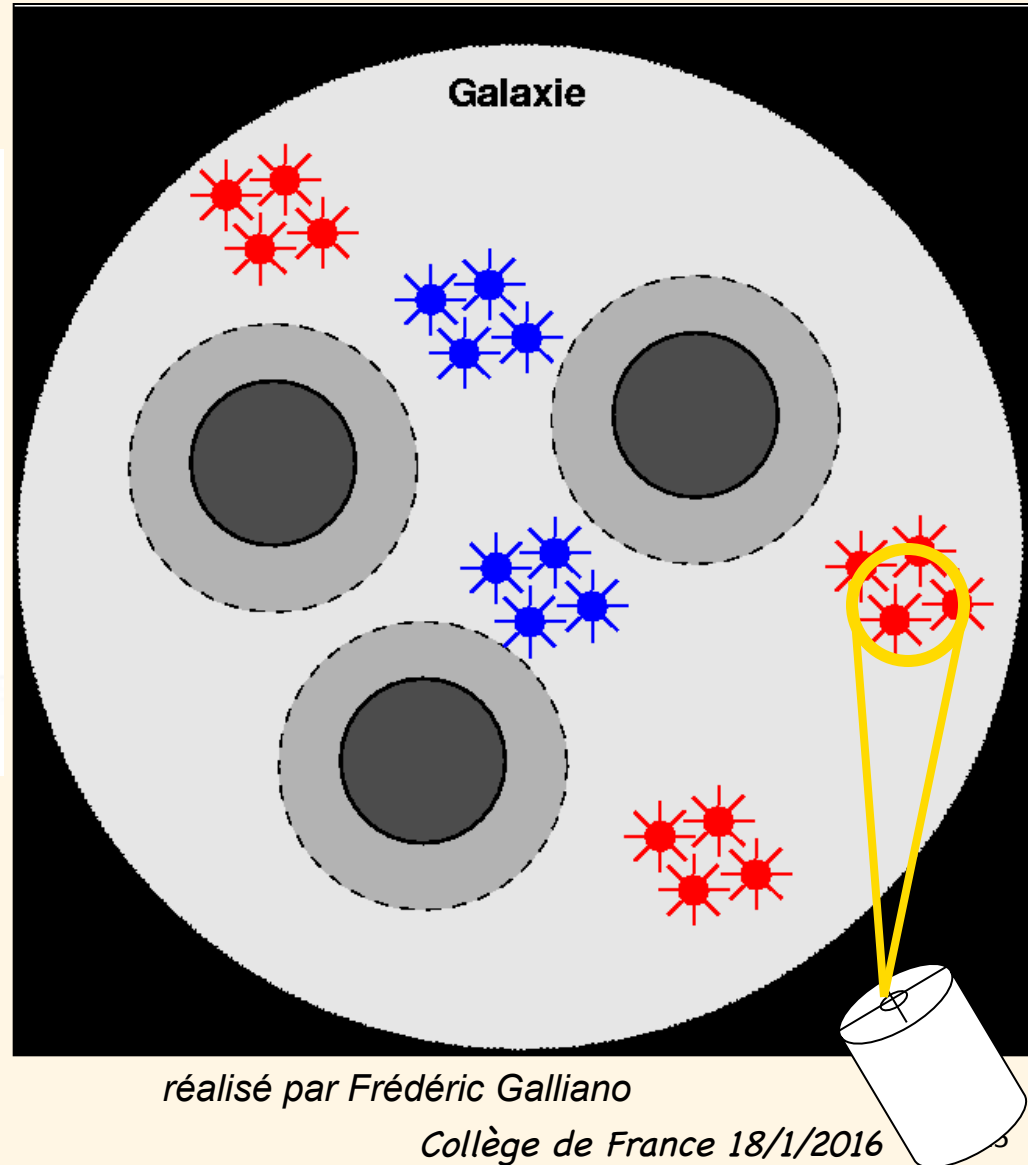
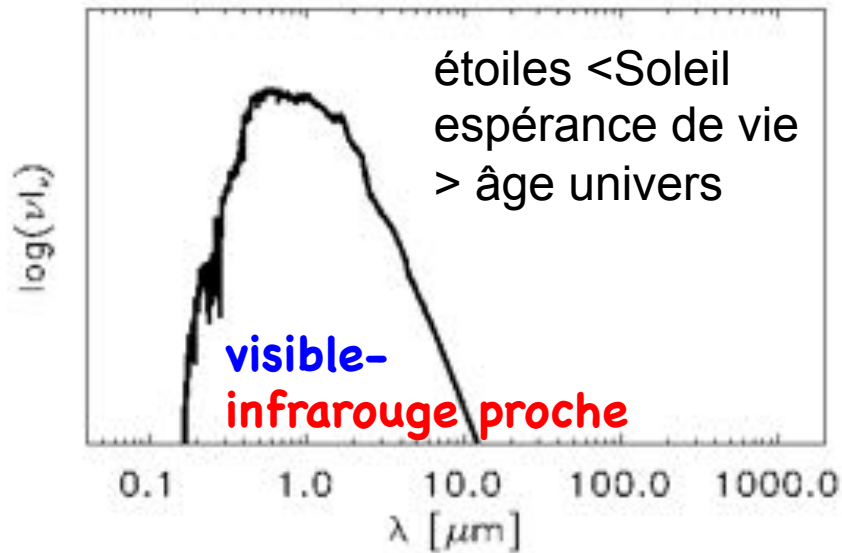
Étoiles jeunes



Distribution d'énergie rayonnée par une galaxie

- Étoiles jeunes
- Étoiles vieilles

Étoiles vieilles

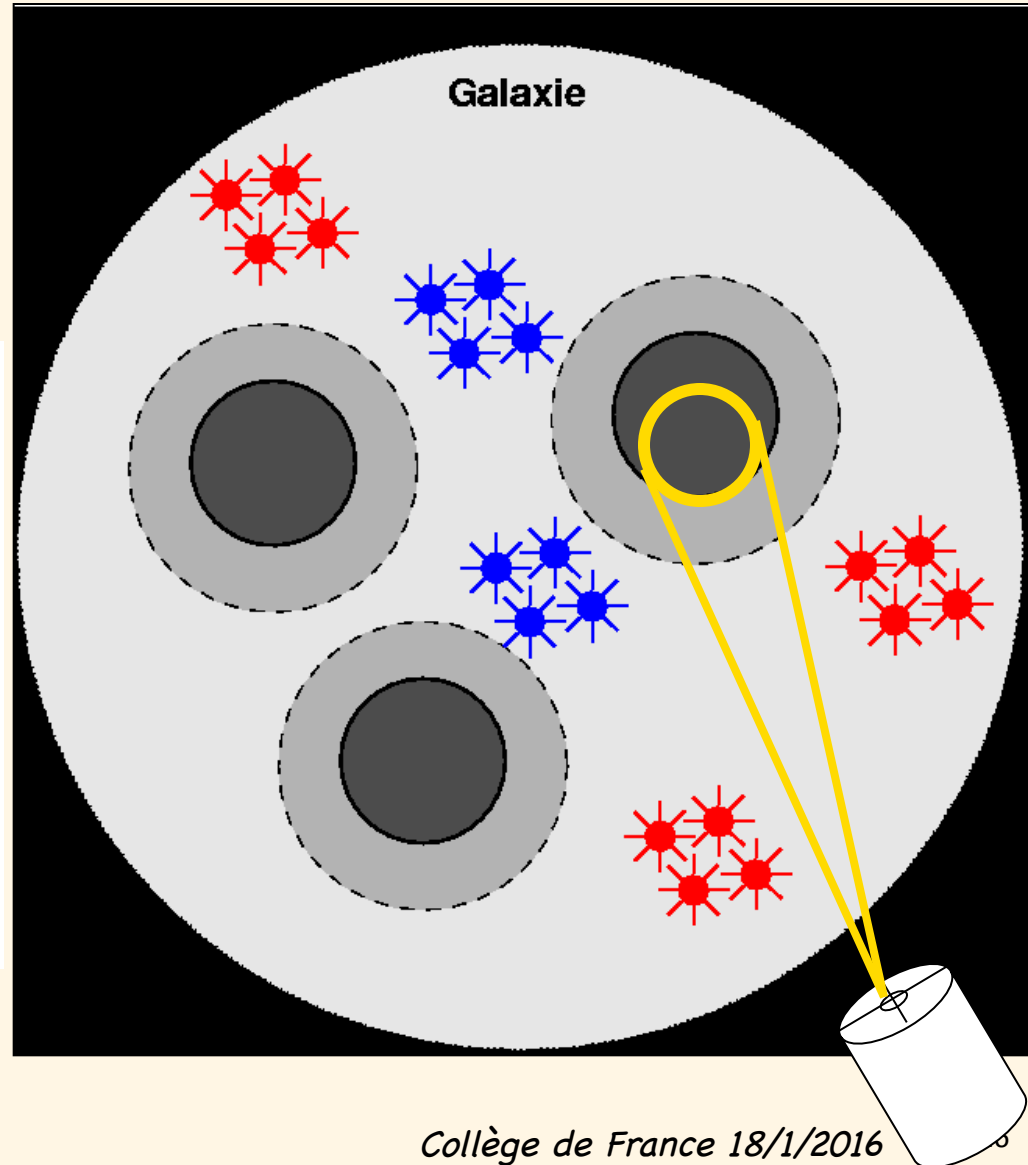
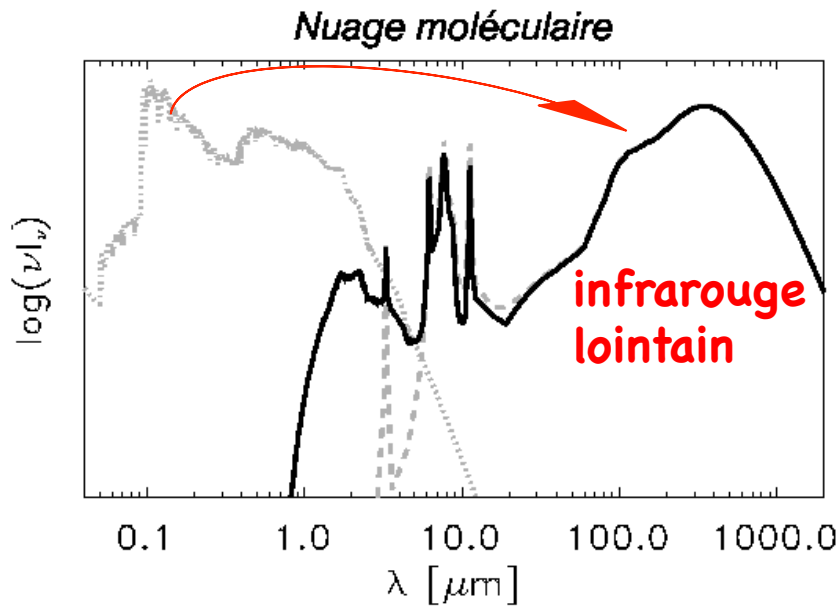


réalisé par Frédéric Galliano

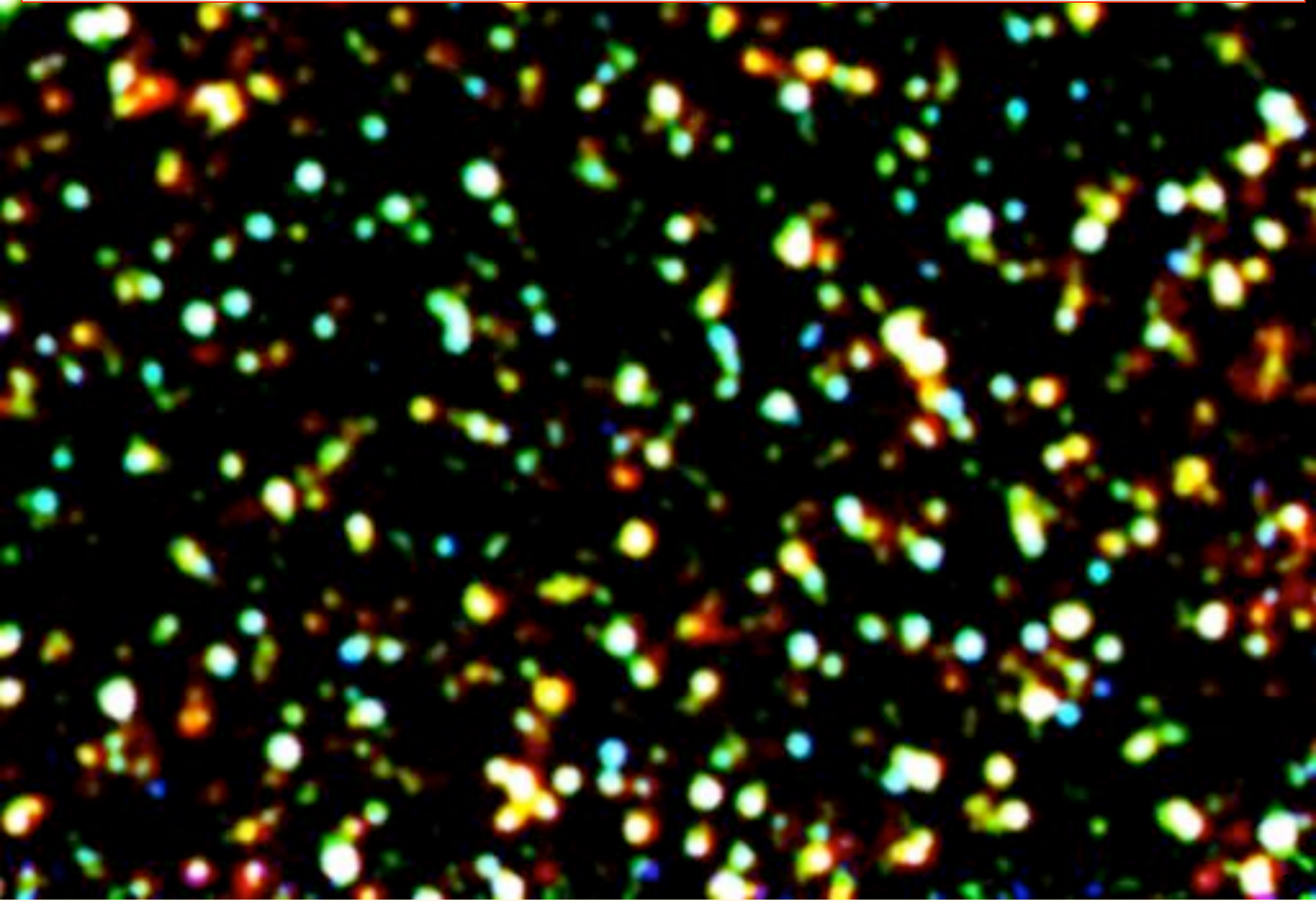
Collège de France 18/1/2016

Distribution d'énergie rayonnée par une galaxie

- Étoiles jeunes
- Étoiles vieilles
- Nuages moléculaires denses où naissent les étoiles

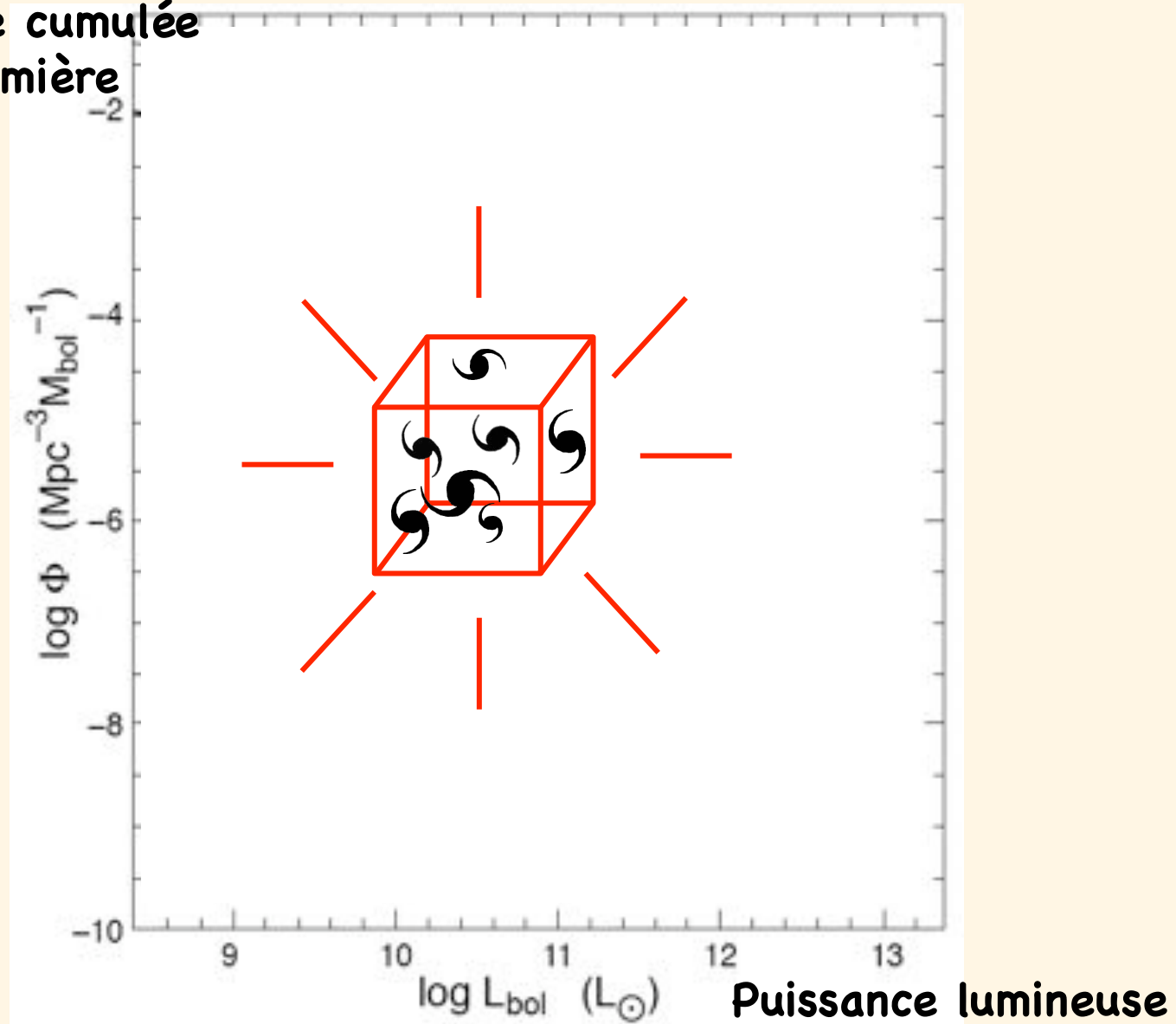


La révolution infrarouge



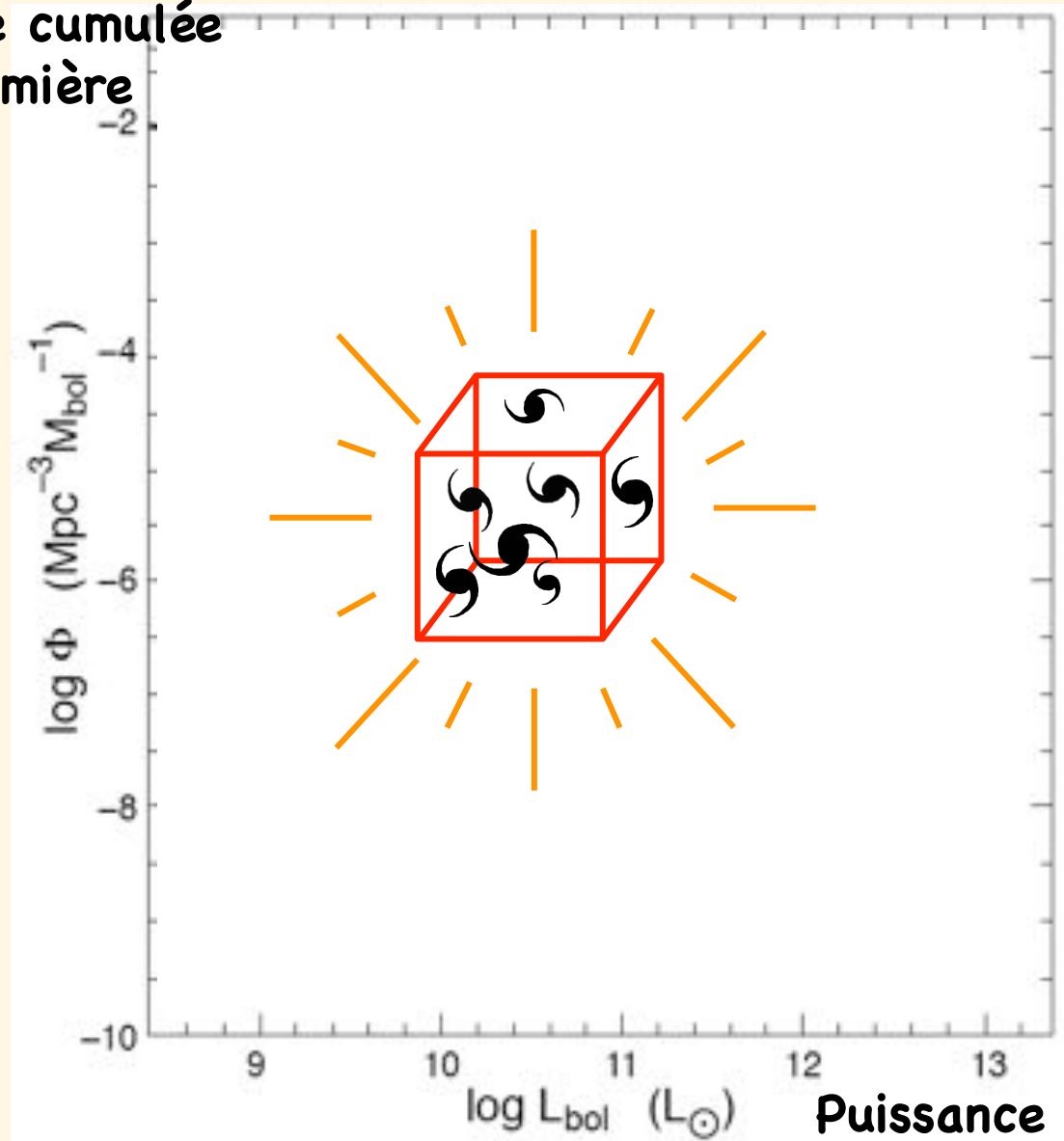
Les galaxies ultra-lumineuses dans l'infrarouge

puissance lumineuse cumulée
/million d'années-lumière



Les galaxies ultra-lumineuses dans l'infrarouge

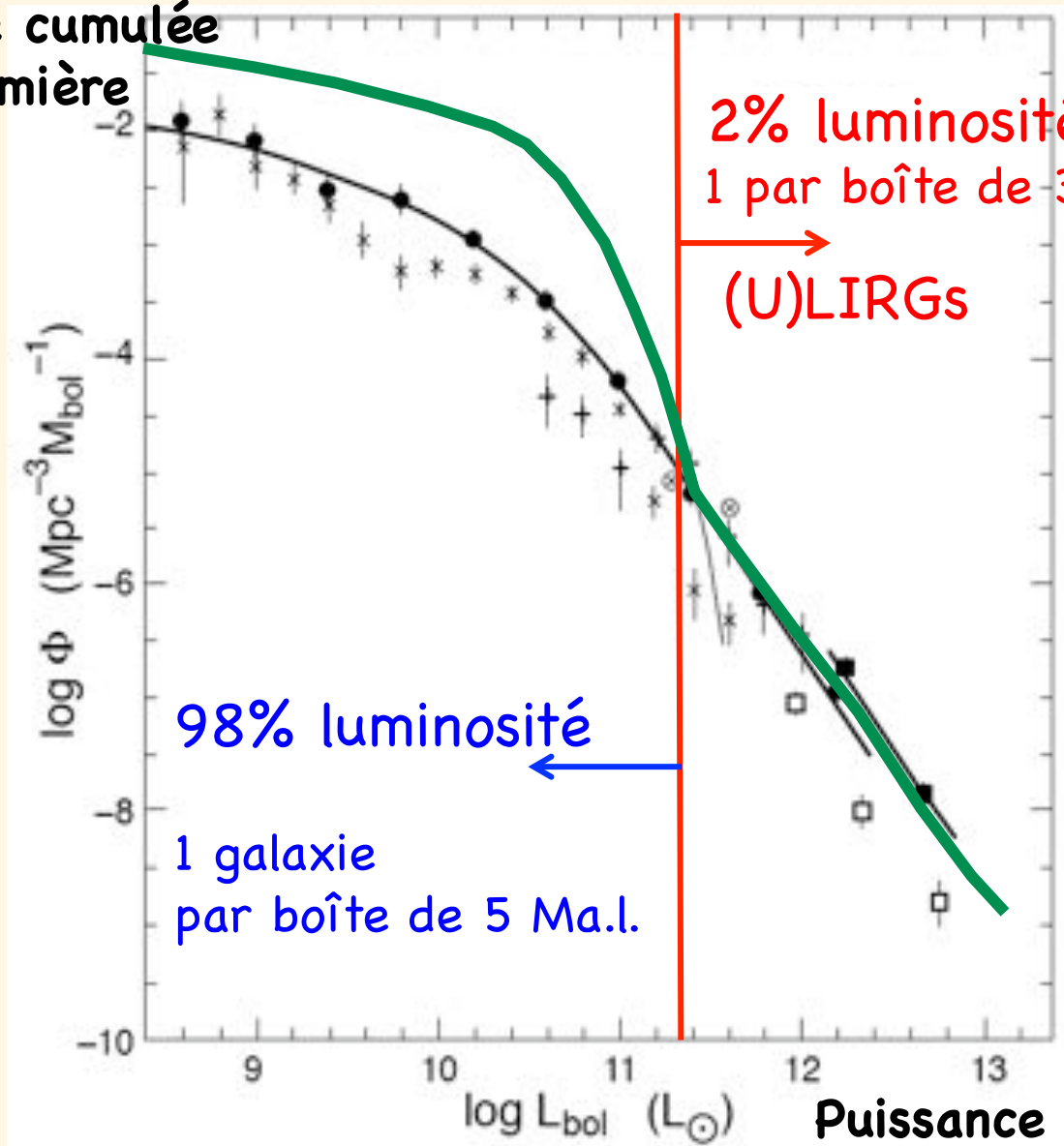
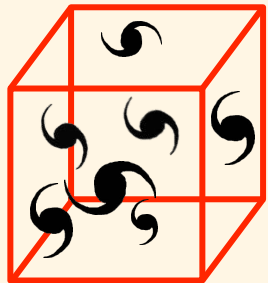
puissance lumineuse cumulée
/million d'années-lumière



Puissance lumineuse

Les galaxies ultra-lumineuses dans l'infrarouge

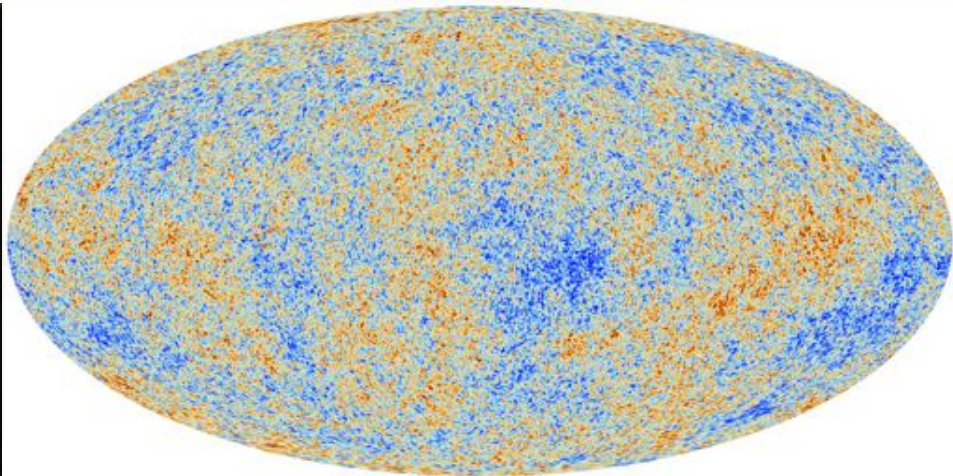
puissance lumineuse cumulée
/million d'années-lumière



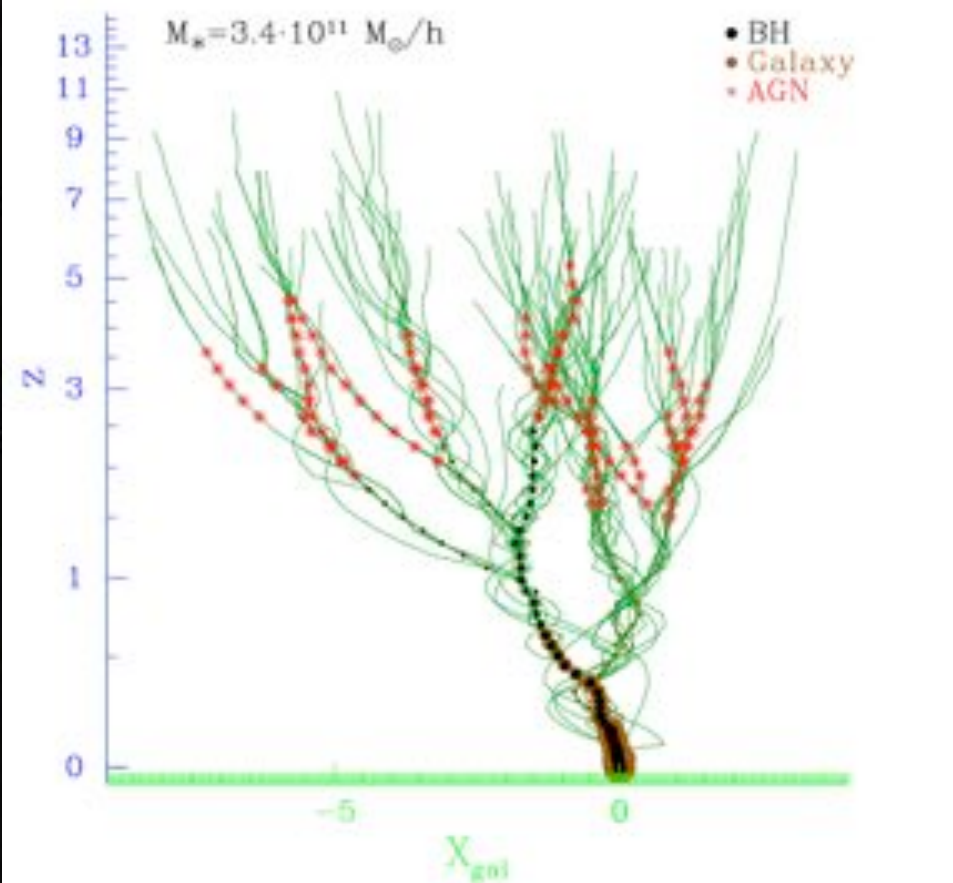
Sanders & Mirabel (1996)

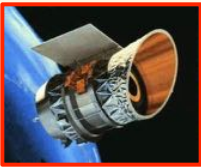
Les starbursts de l'univers local, des monstres infrarouges





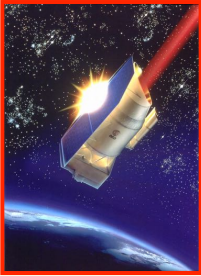
Les monstres infrarouges
ont-ils joué un rôle important
dans le passé ?



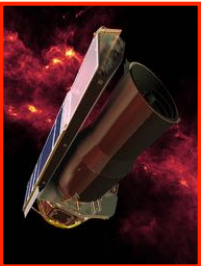


IRAS 1985

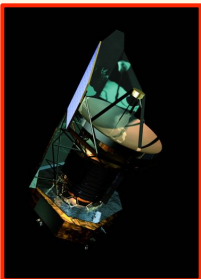
57 cm
41" fwhm



ISO 1995
60 cm

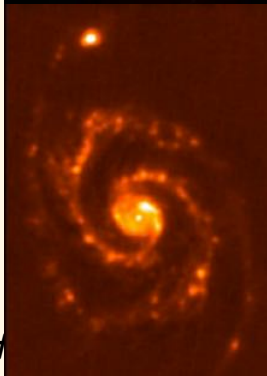
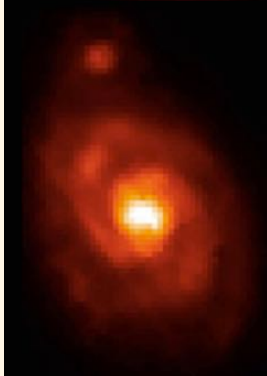
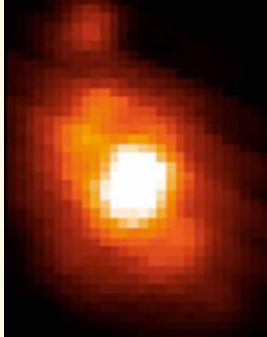
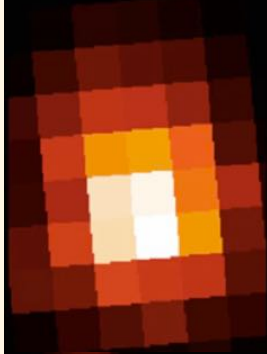


Spitzer 2003
85 cm

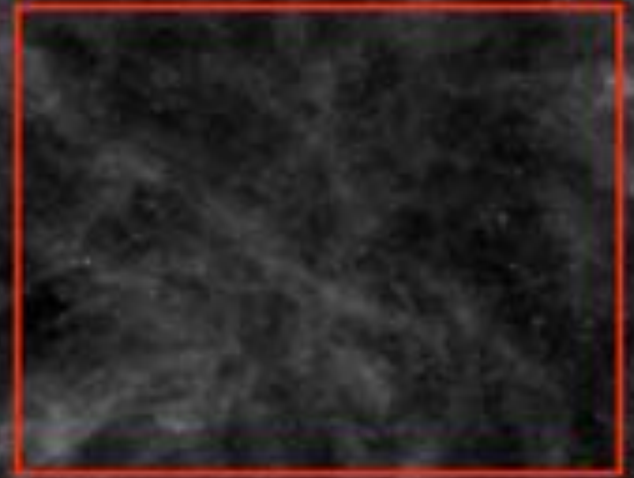


Herschel 2009

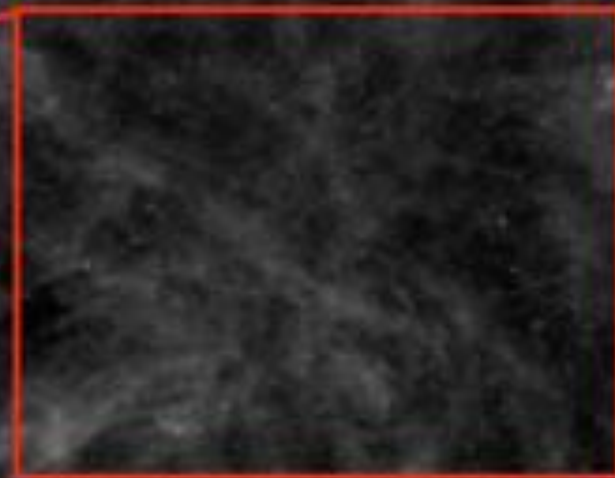
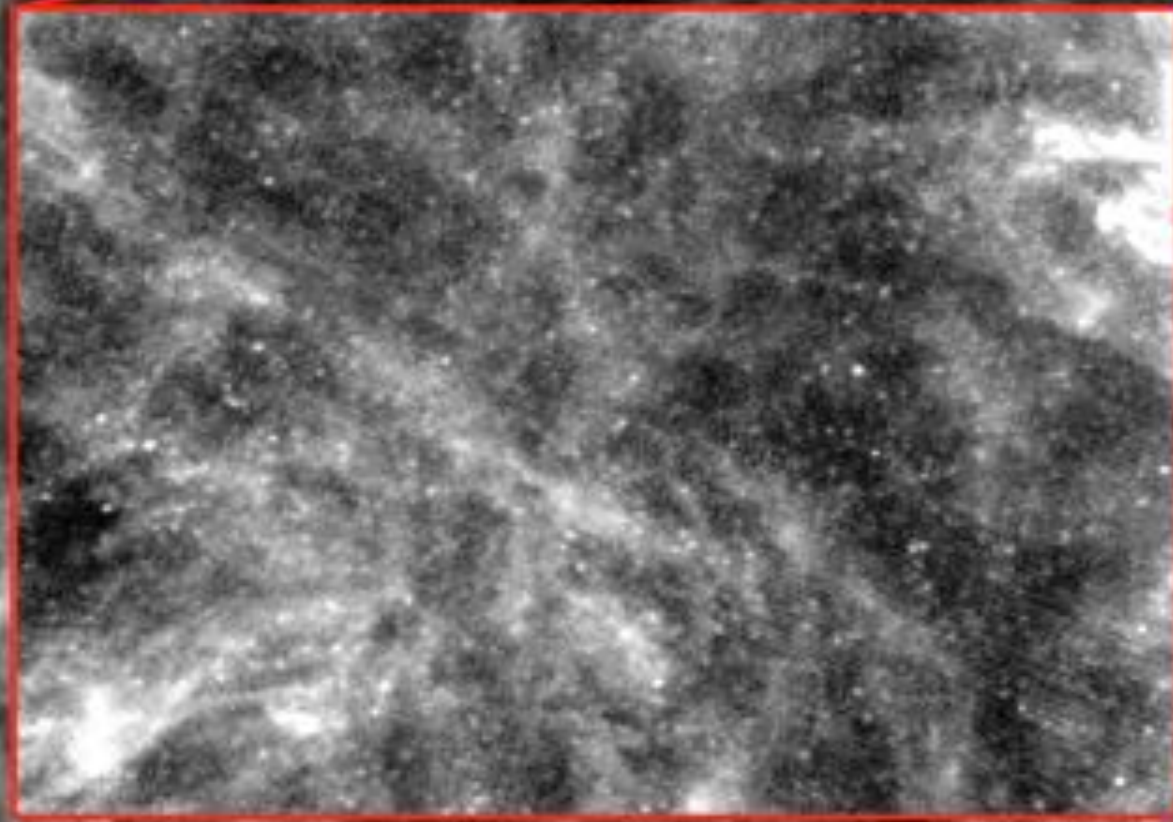
350 cm
FWHM → ●
100 μm = 6.7 arcsec



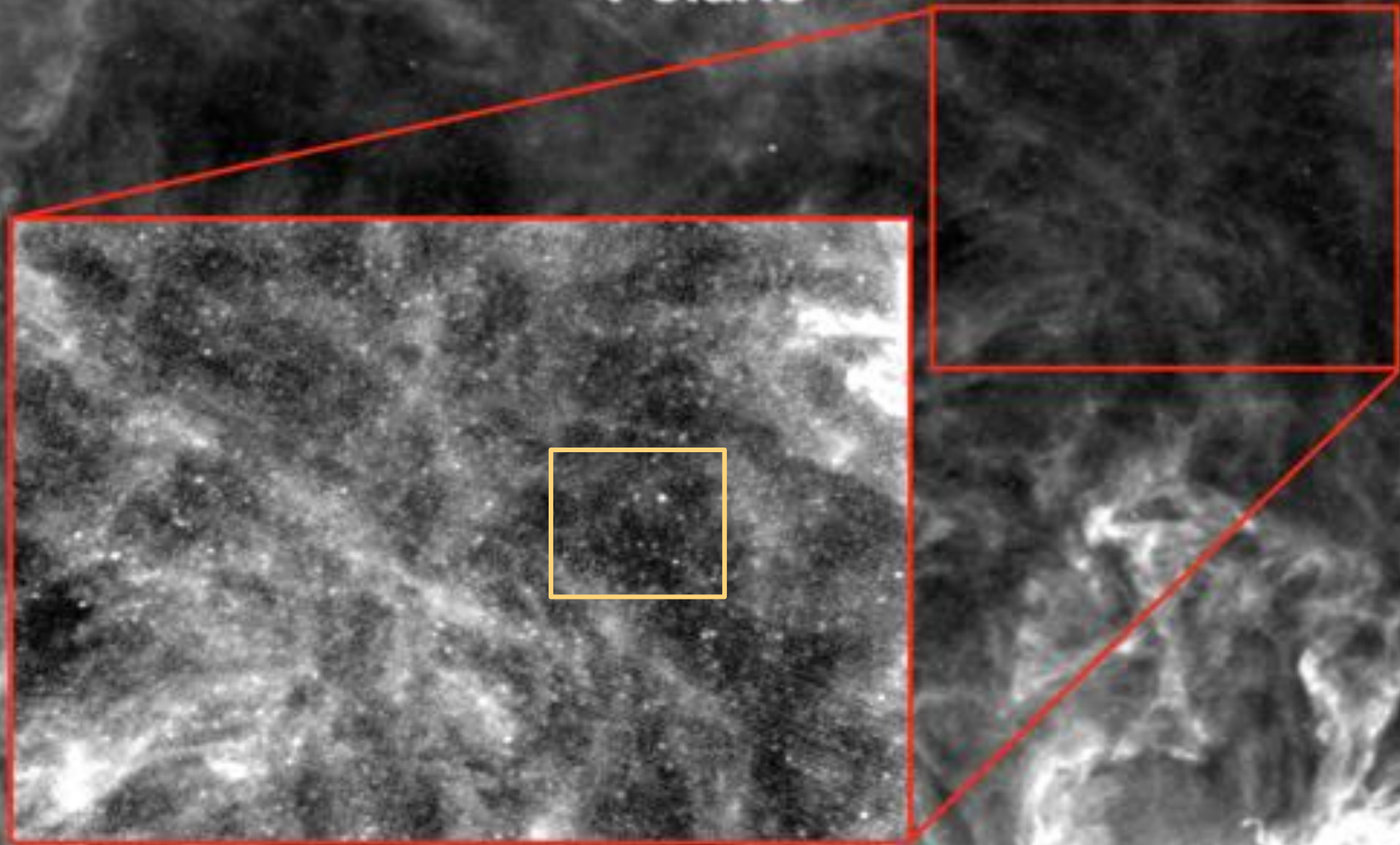
Polaris

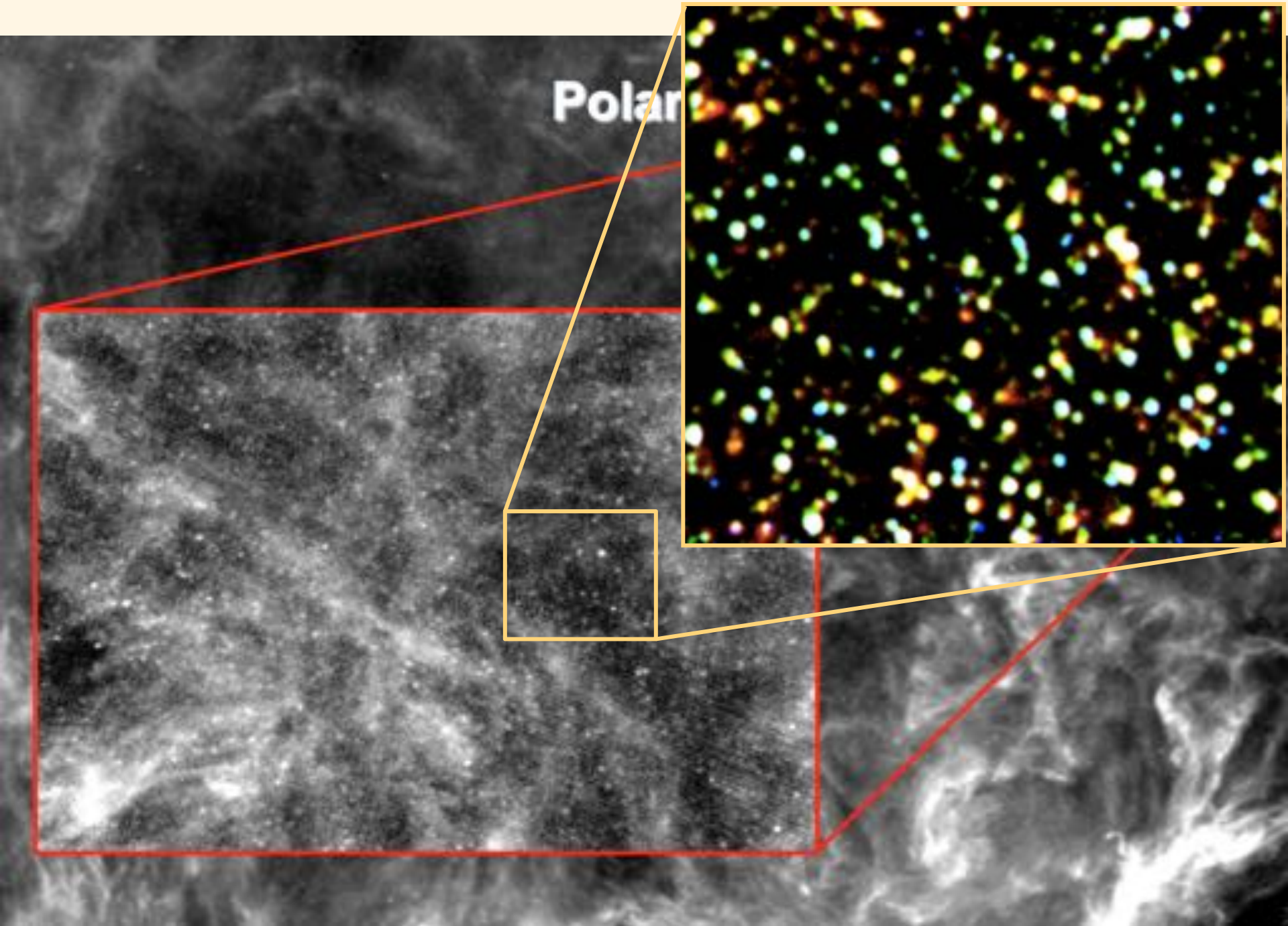


Polaris

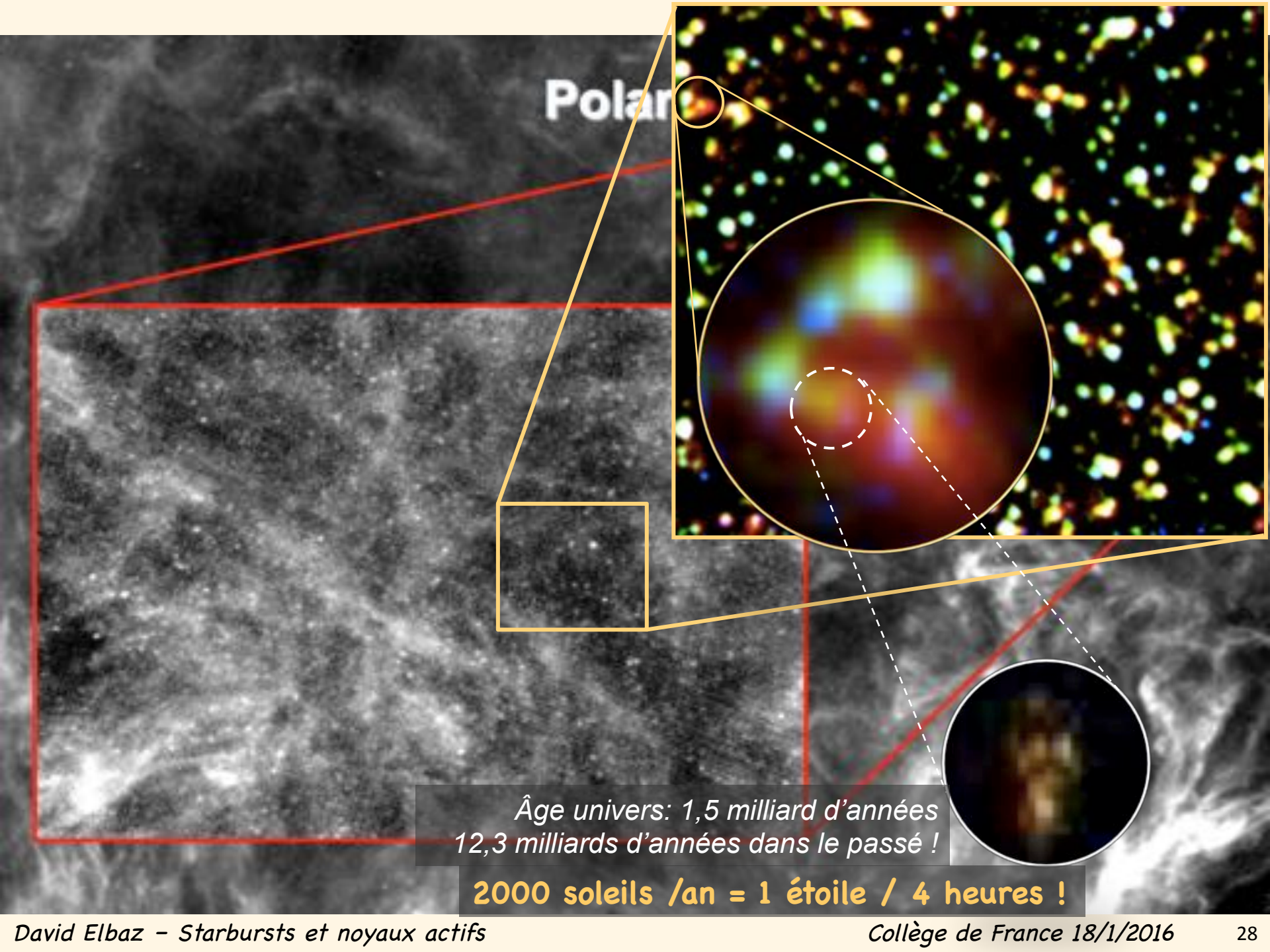


Polaris





Polar

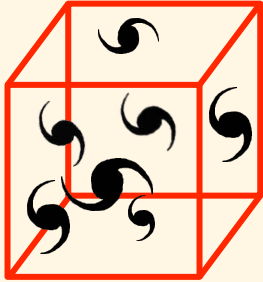


Polaris

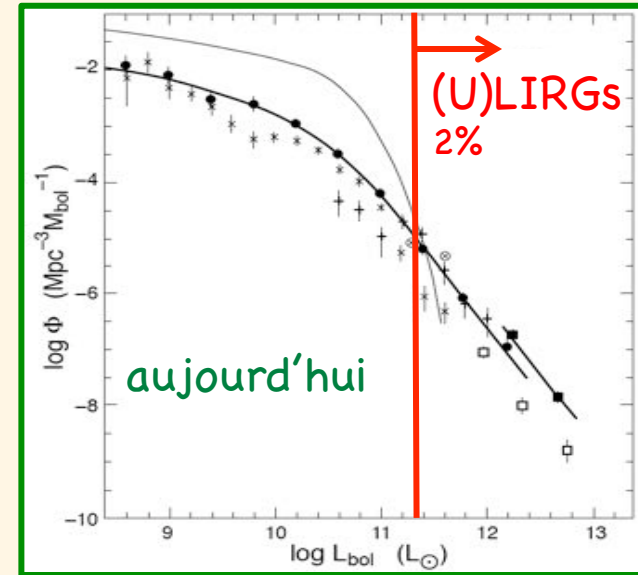
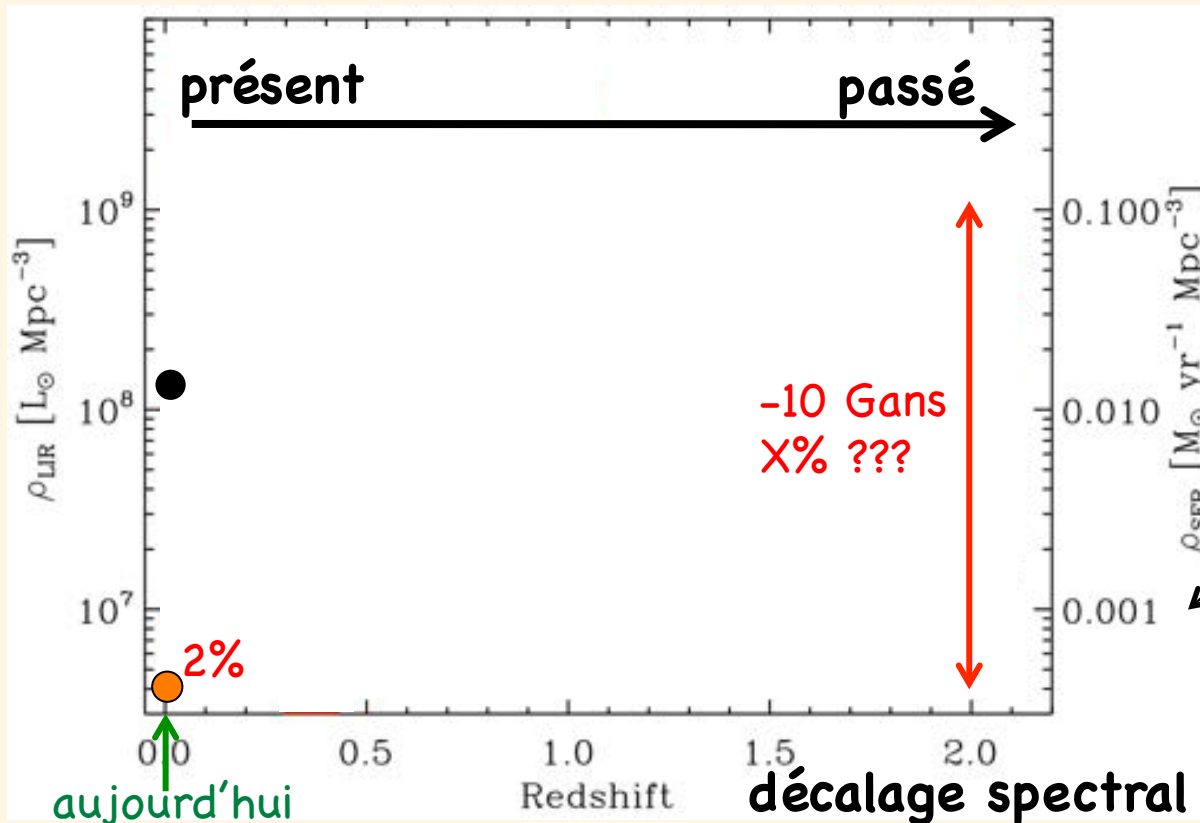
Âge univers: 1,5 milliard d'années
12,3 milliards d'années dans le passé !

2000 soleils /an = 1 étoile / 4 heures !

Les galaxies ultra-lumineuses dans l'infrarouge



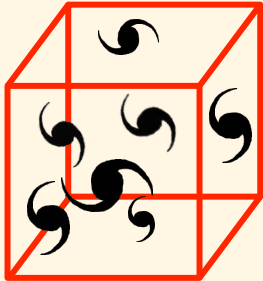
taux de formation d'étoiles cosmique /million d'années-lumière



1 Soleil / **an** / boîte de 7 millions d'année-lumière

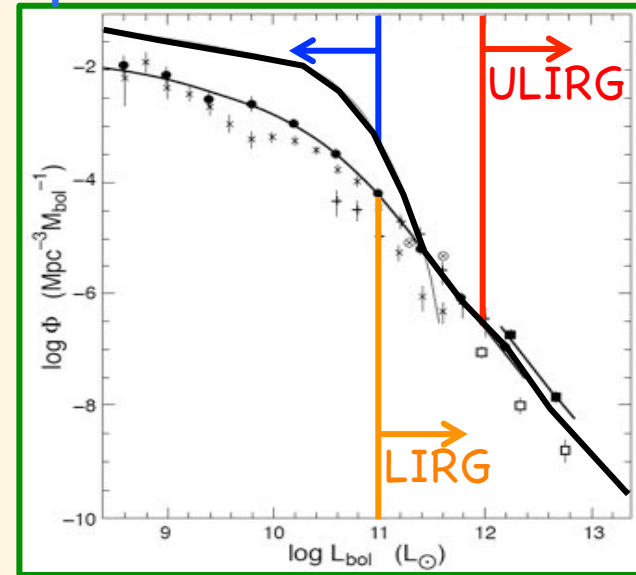
1 Soleil / **siècle** / boîte de 7 millions d'année-lumière

Les galaxies ultra-lumineuses dans l'infrarouge

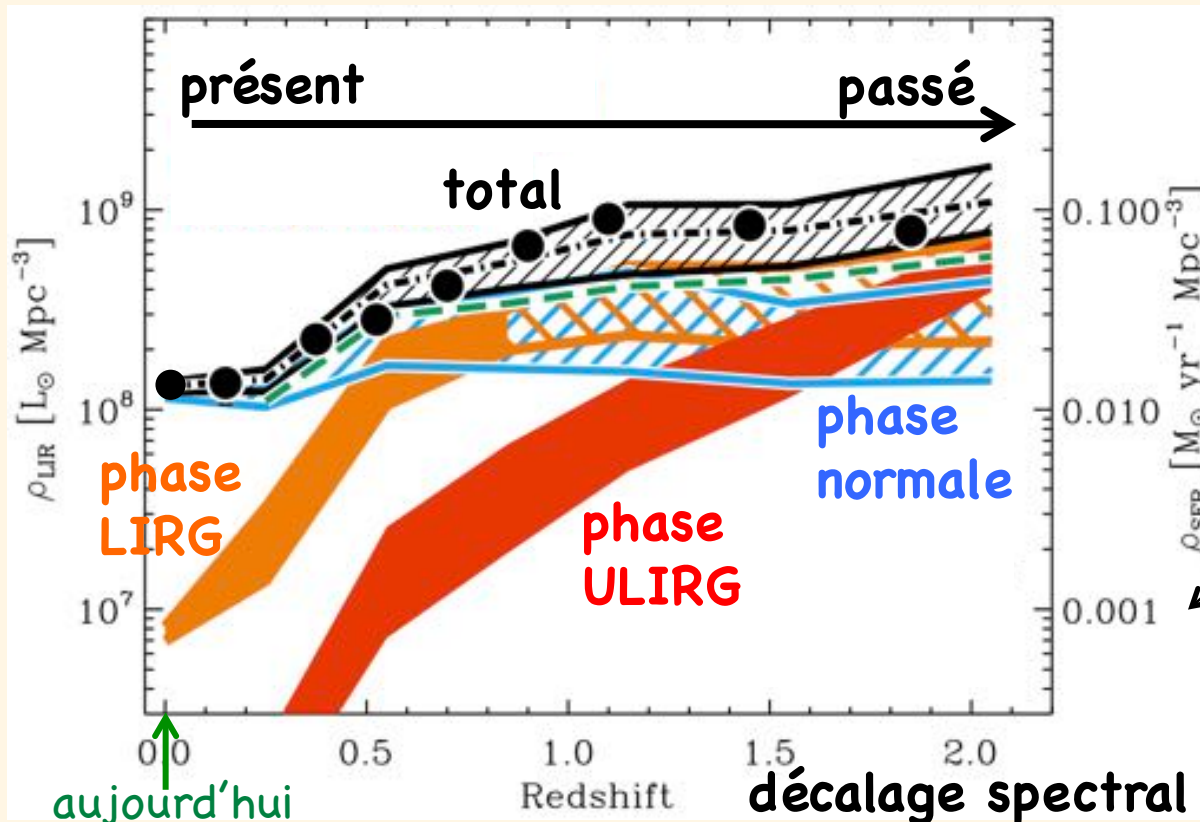


aujourd'hui

phase normale



taux de formation d'étoiles cosmique /million d'années-lumière



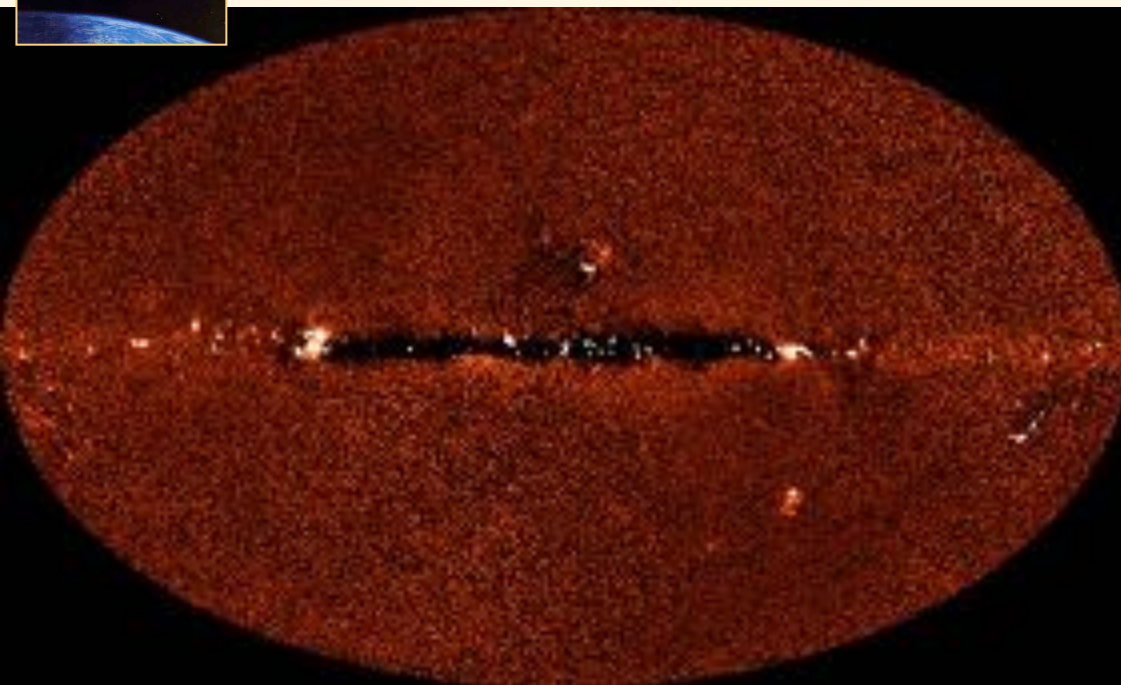
1 Soleil / an / boîte de 7 millions d'année-lumière

1 Soleil / siècle / boîte de 7 millions d'année-lumière

Magnelli et al (2013)



Le fond diffus cosmologique infrarouge



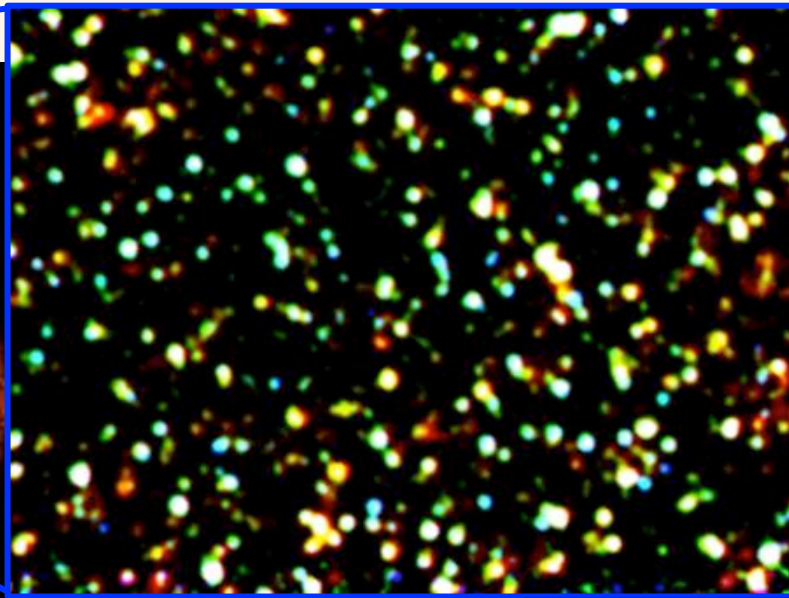
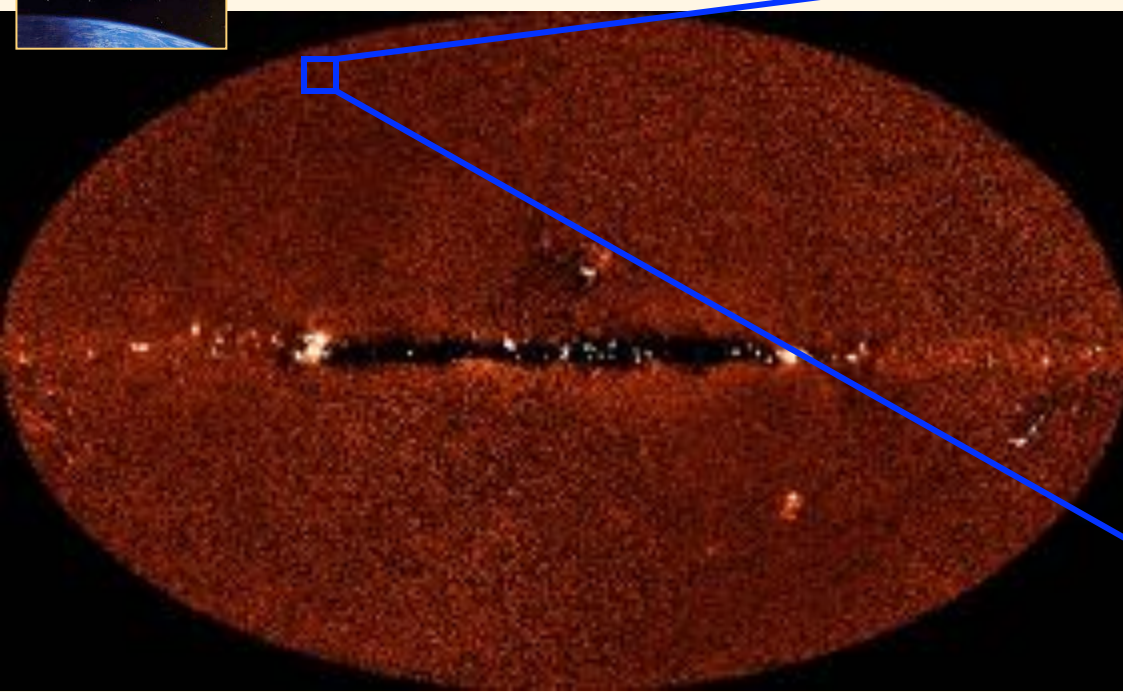
=5% du fond diffus
cosmologique dû au Big Bang
(3000K, 380 000 ans après le
Big Bang)

Image à 240 μm (COBE/DIRBE, NASA)

COBE (NASA)



Le fond diffus cosmologique infrarouge



Herschel (ESA)

Image à 240 μm (COBE/DIRBE, NASA)



Le fond diffus cosmologique infrarouge

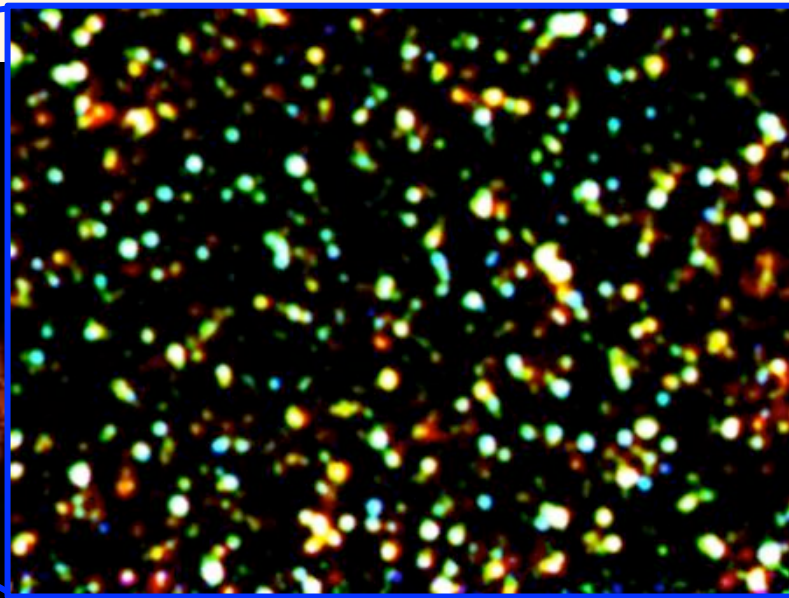
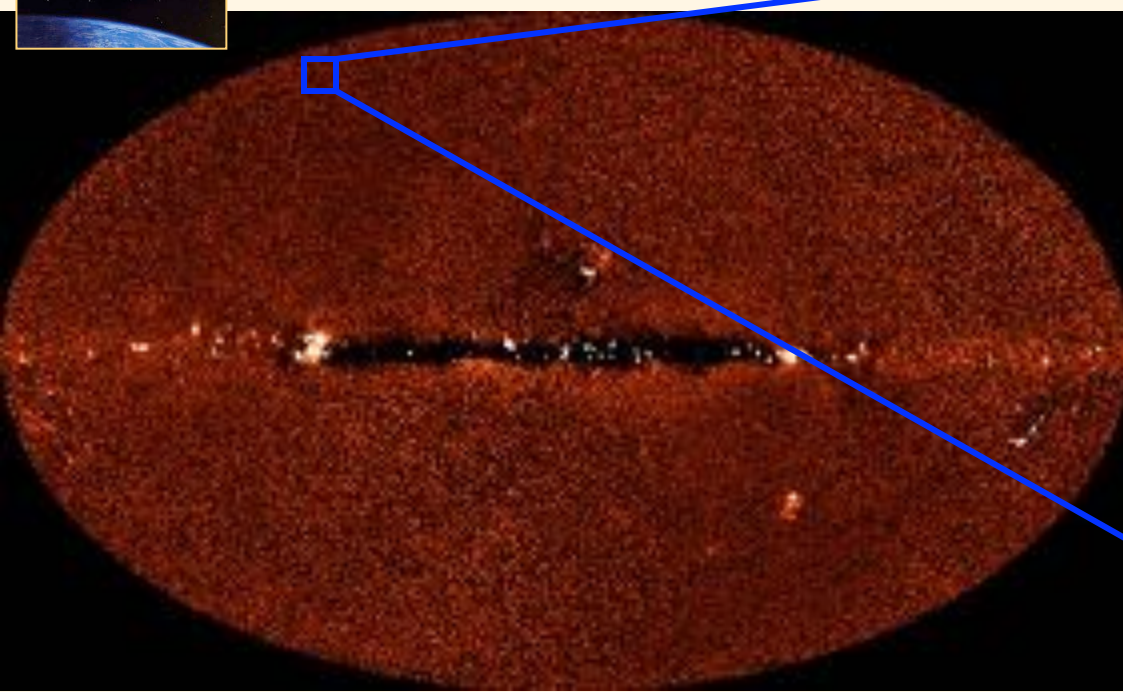


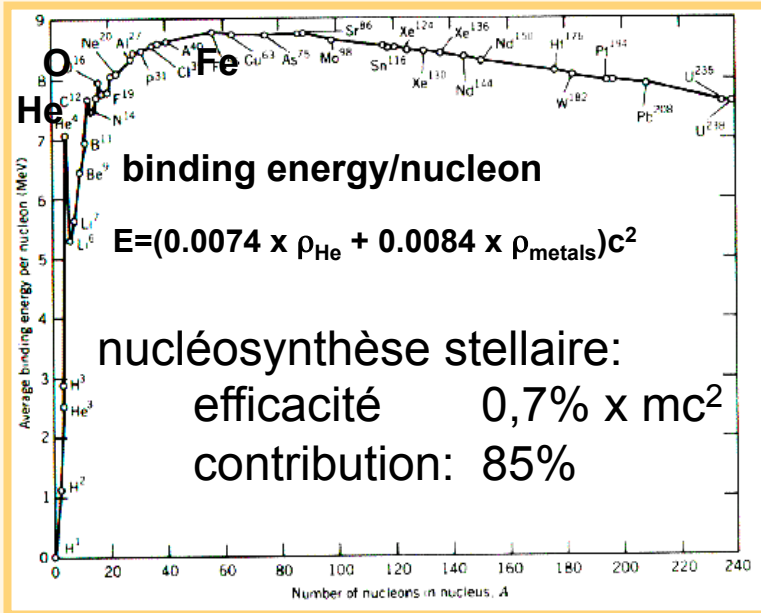
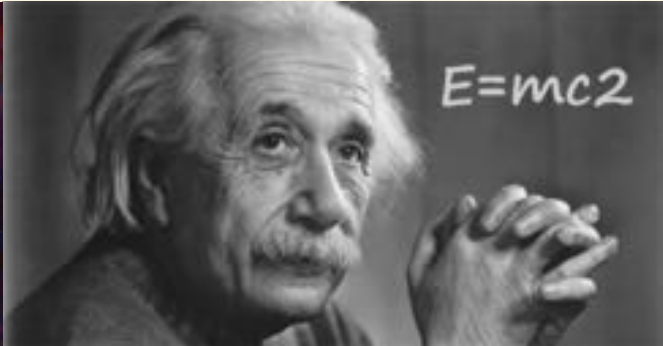
Image à 240 μm (COBE/DIRBE, NASA)

accrétion:



efficacité 10% x mc^2

contribution au fond diffus: 15%



SHARE

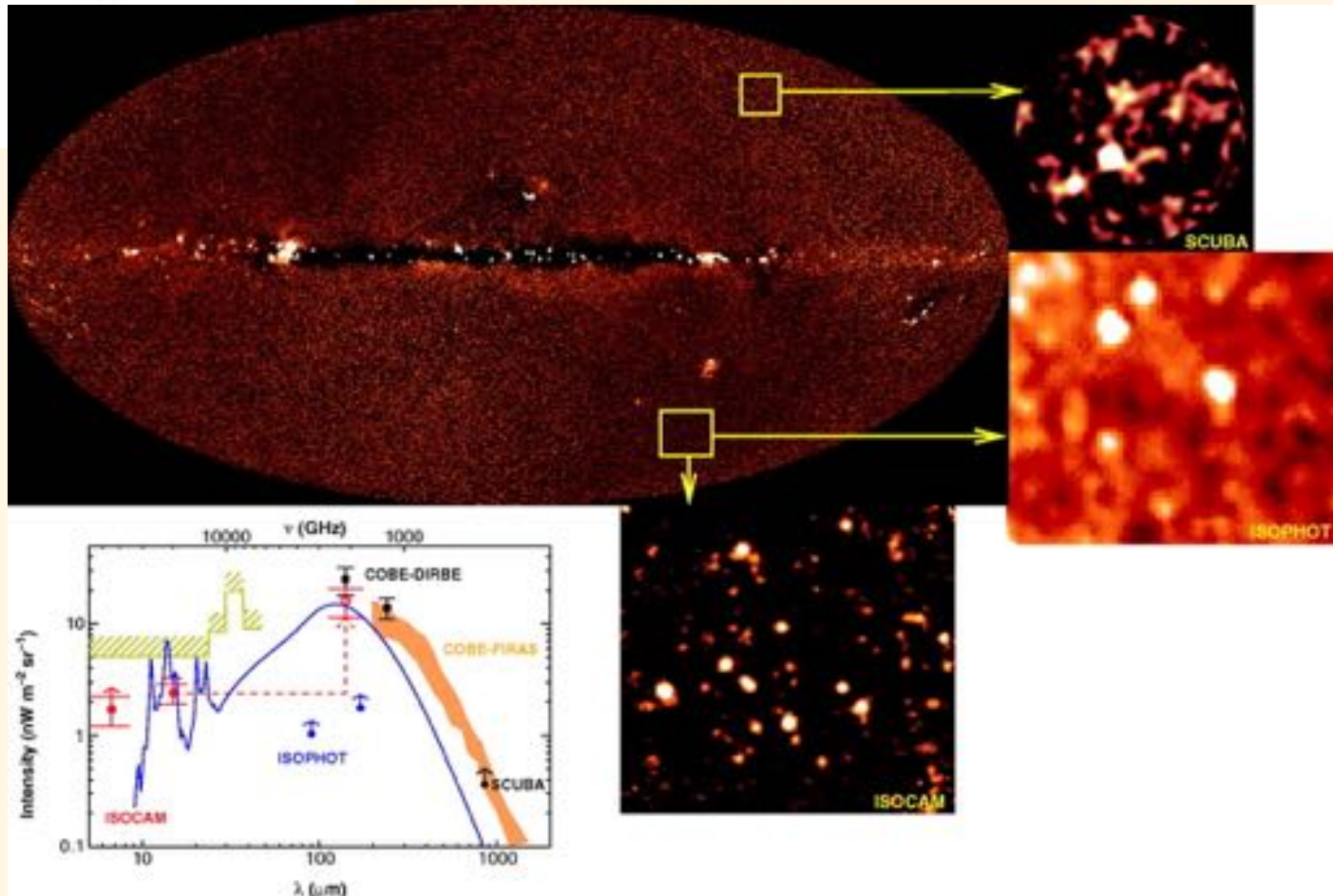
REVIEW

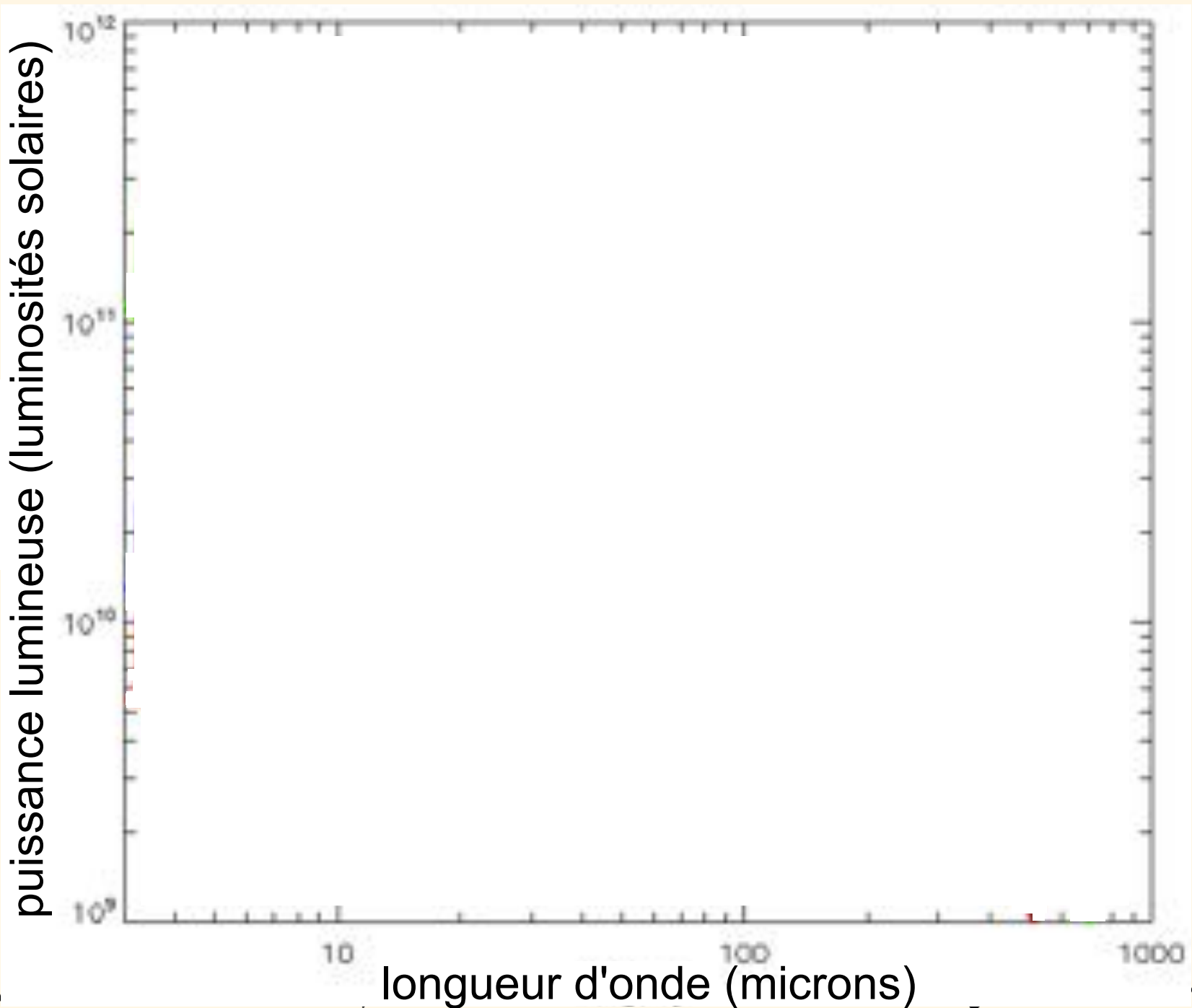
A Fossil Record of Galaxy Encounters

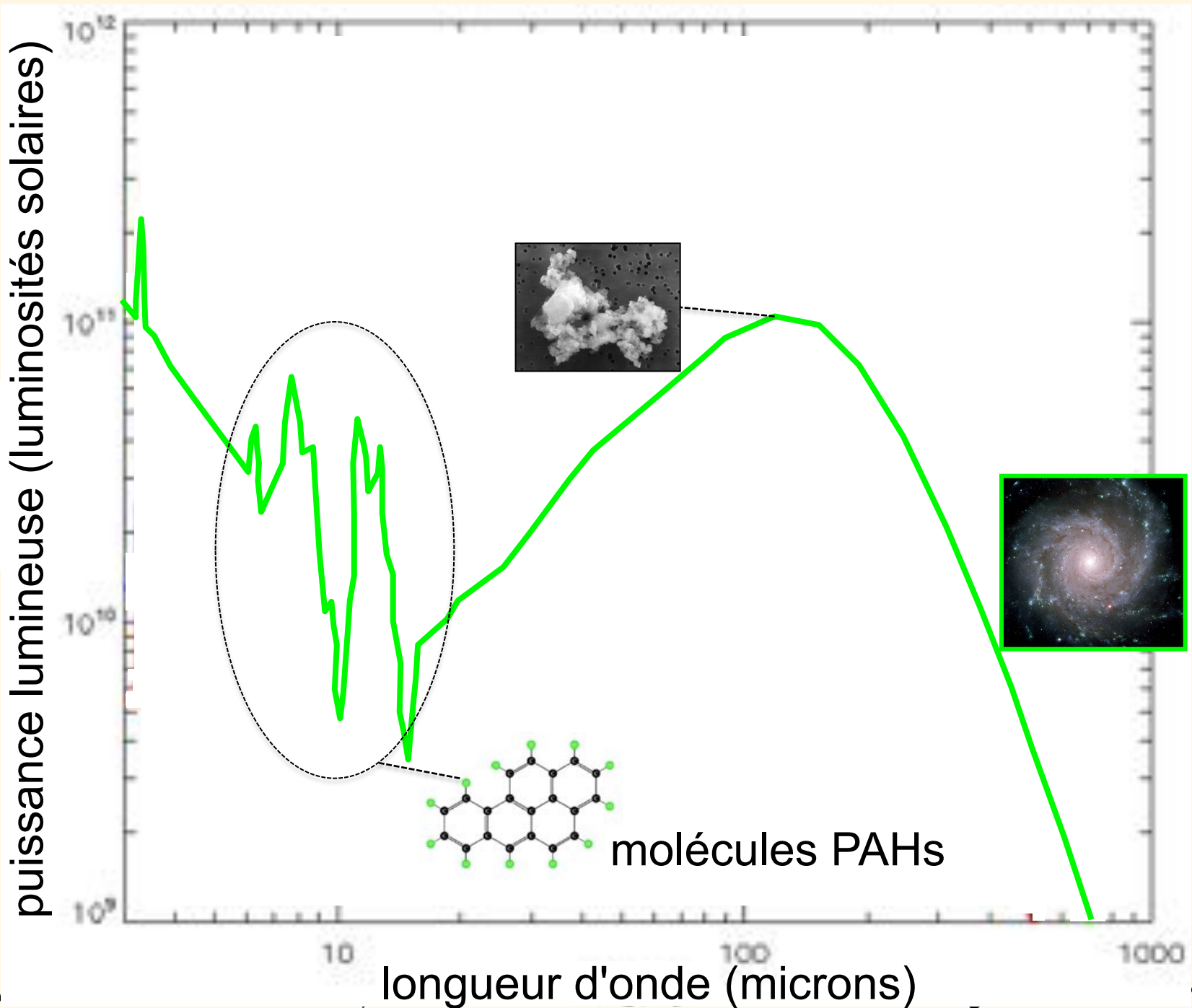
David Elbaz¹, Catherine J. Cesarsky²

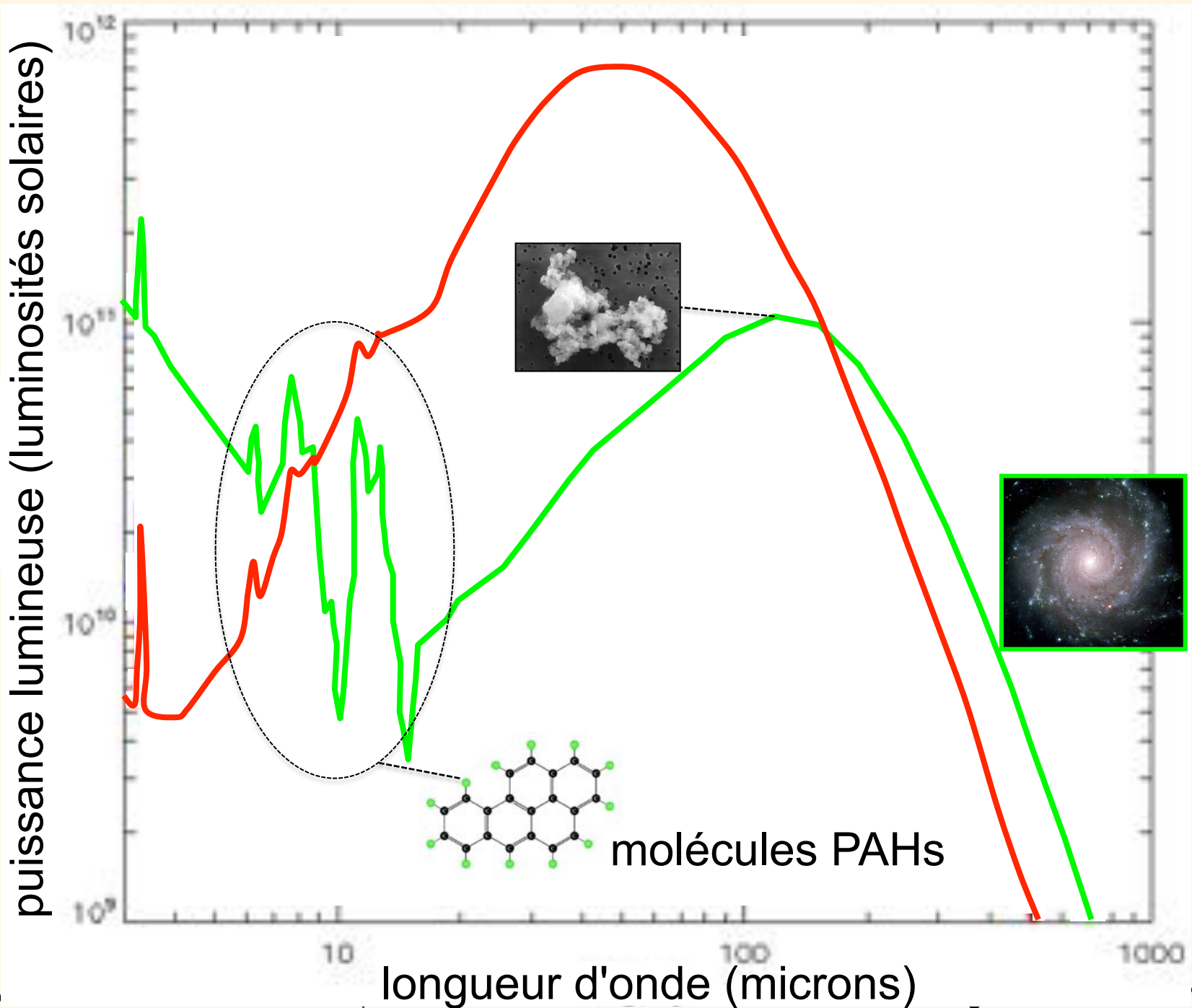
Author Affiliations

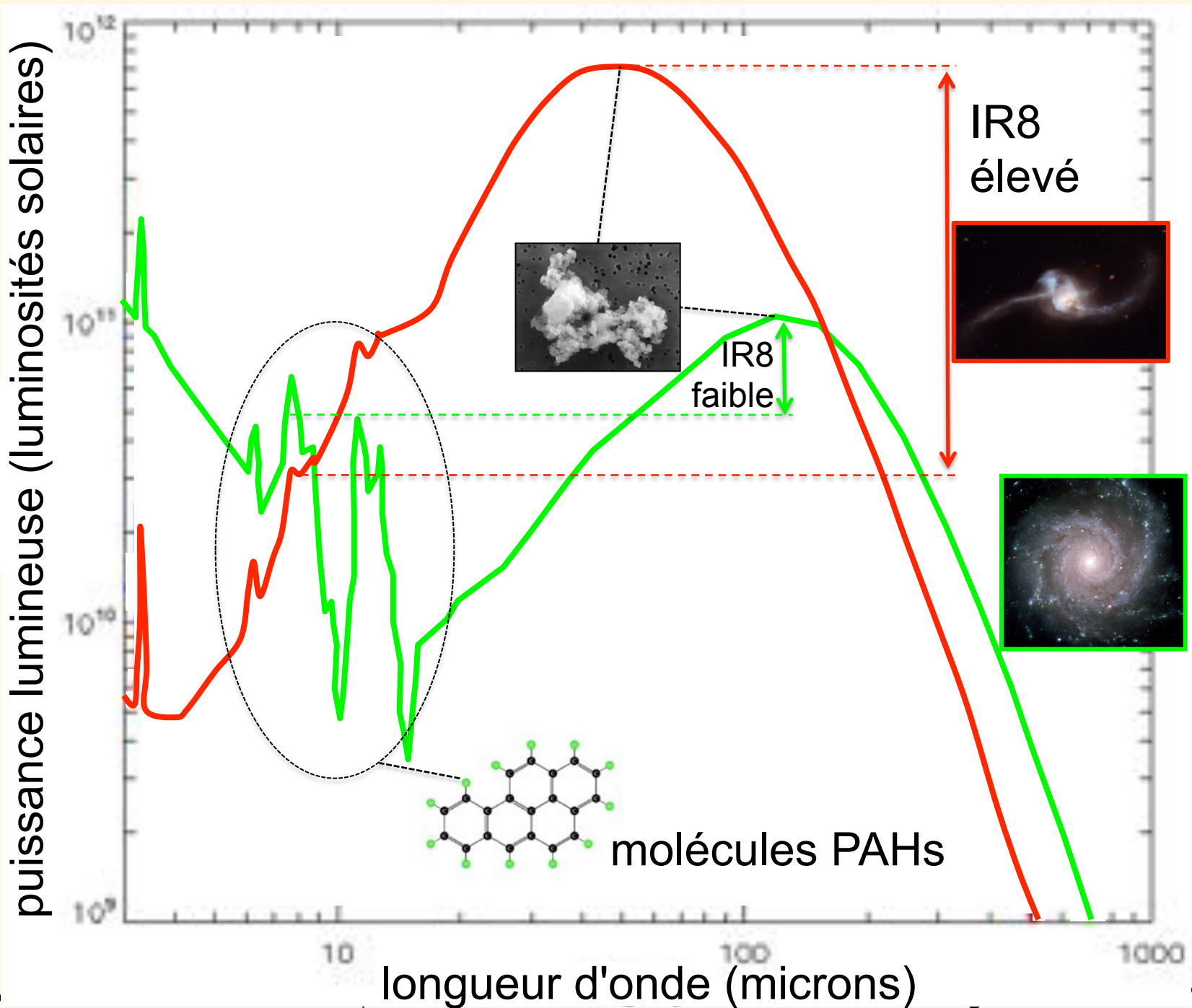
Science 11 Apr 2003
Vol. 300, Issue 5617, pp. 270-274
DOI: 10.1126/science.1081525



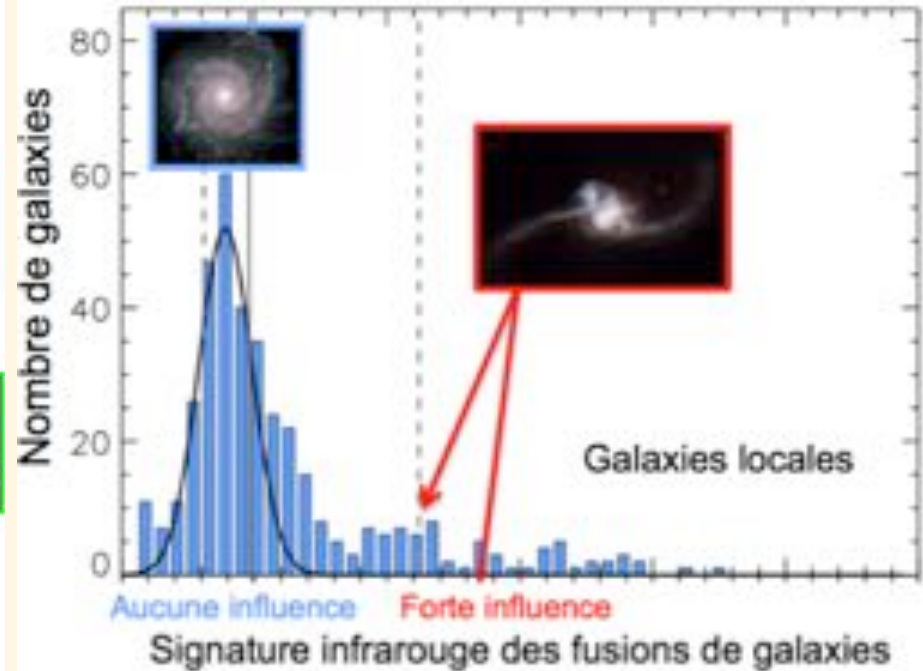
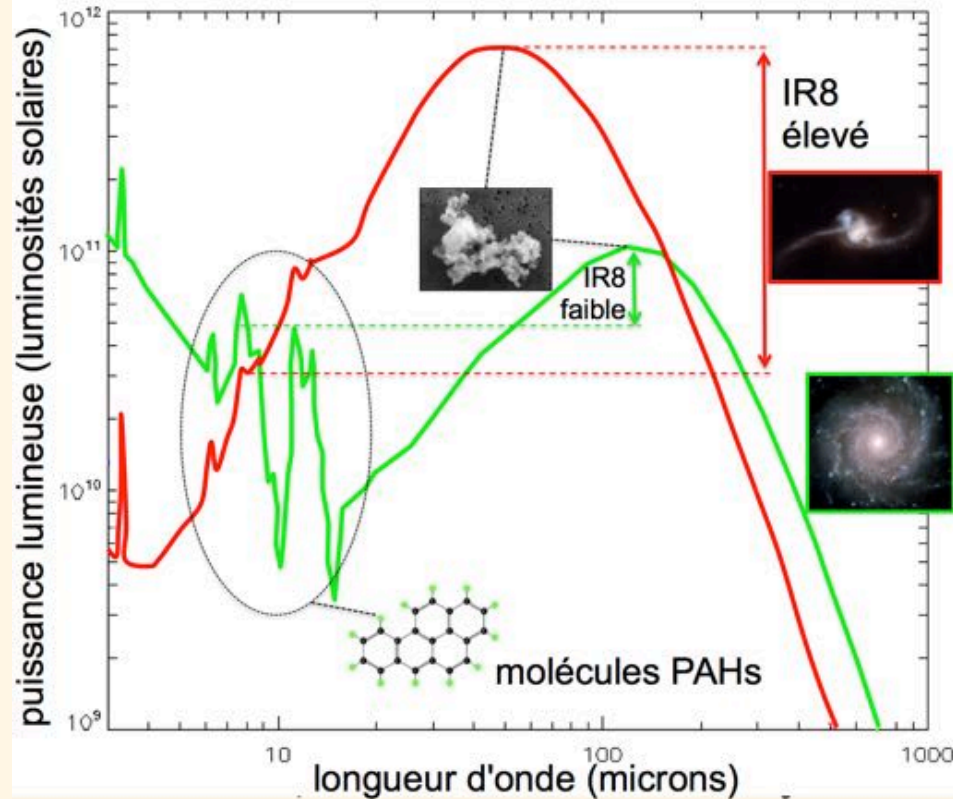




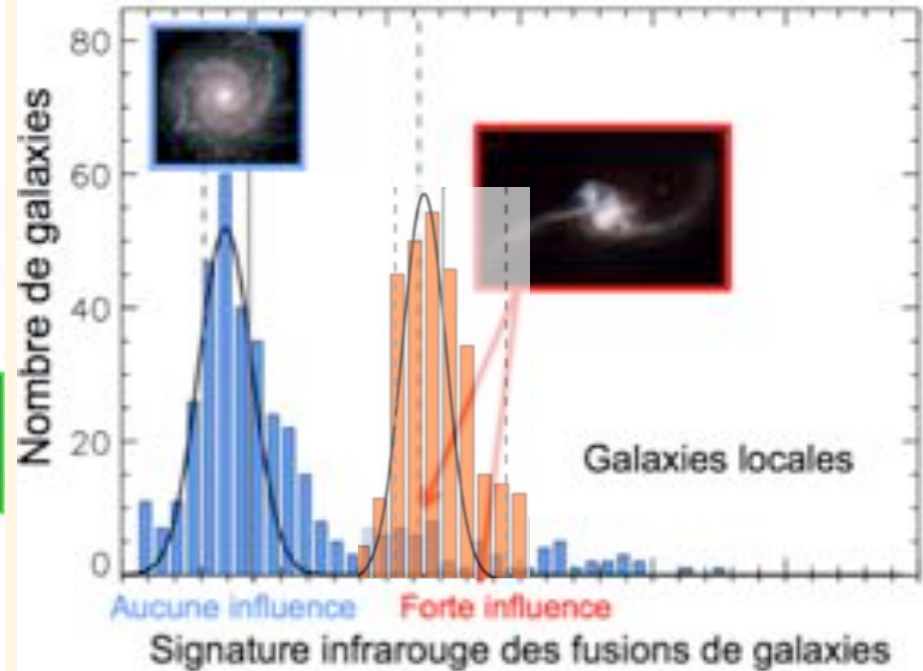
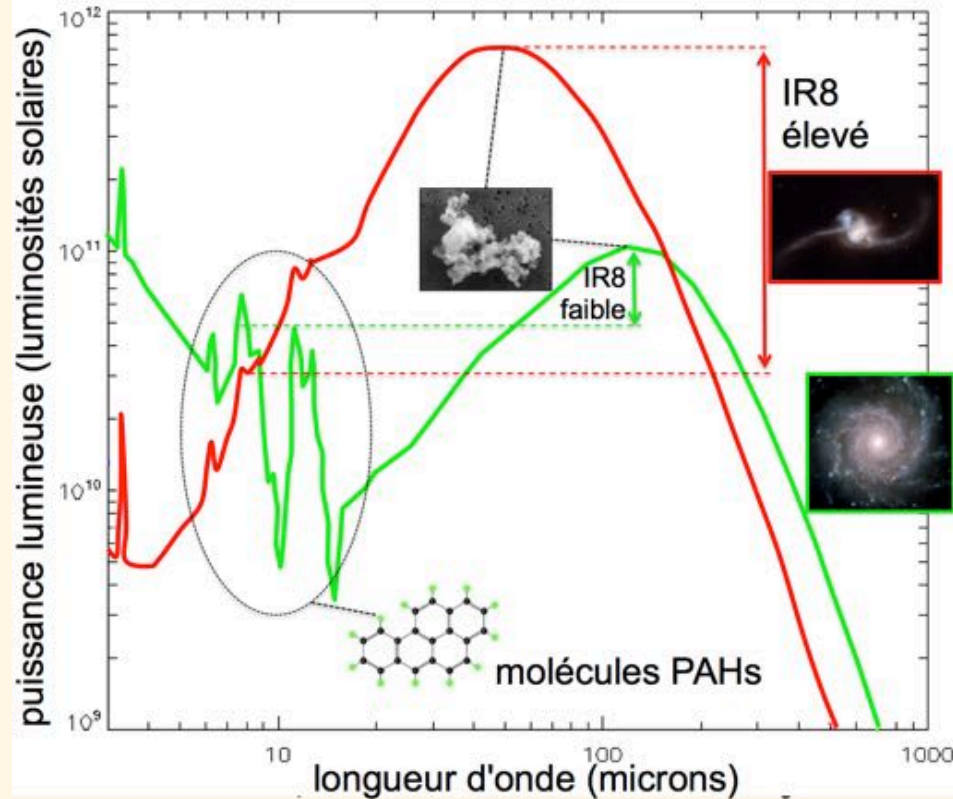




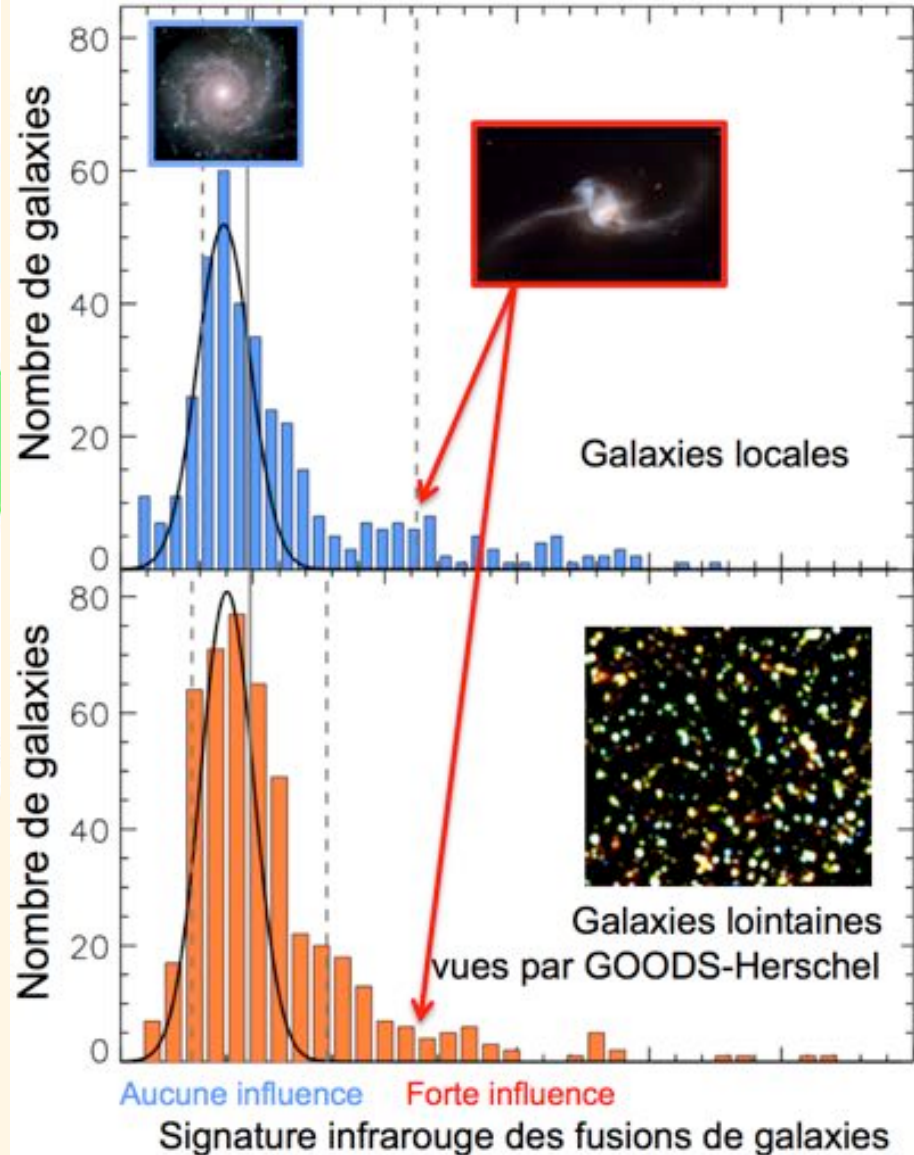
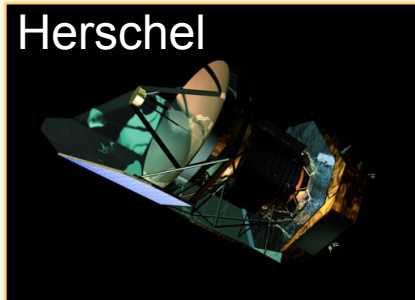
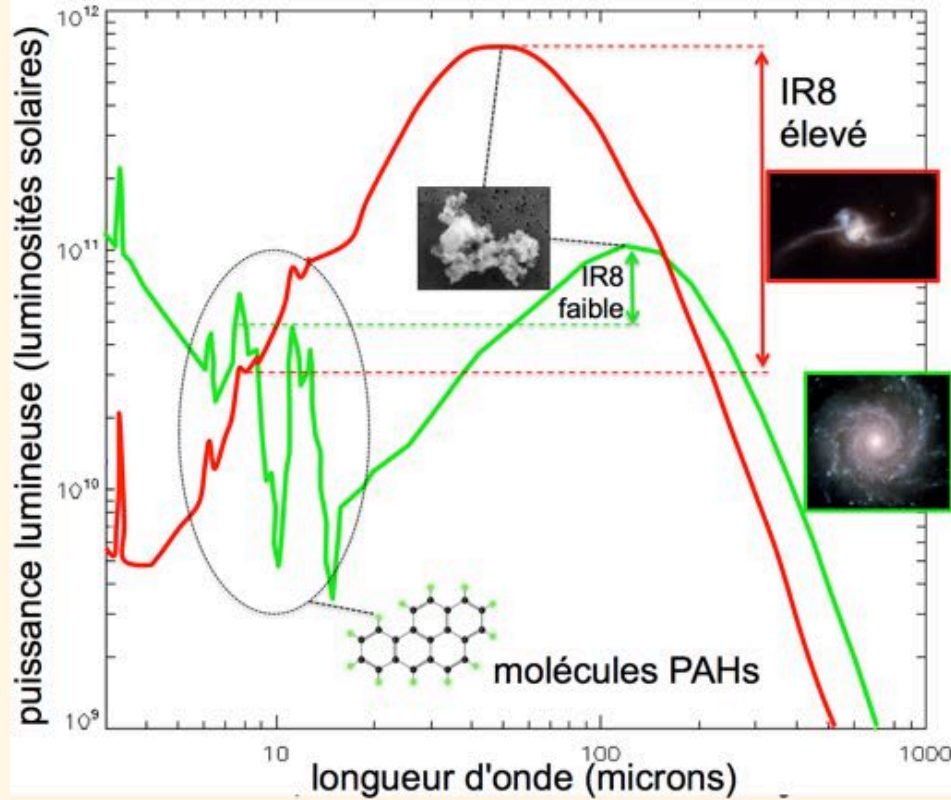
La signature infrarouge des starbursts



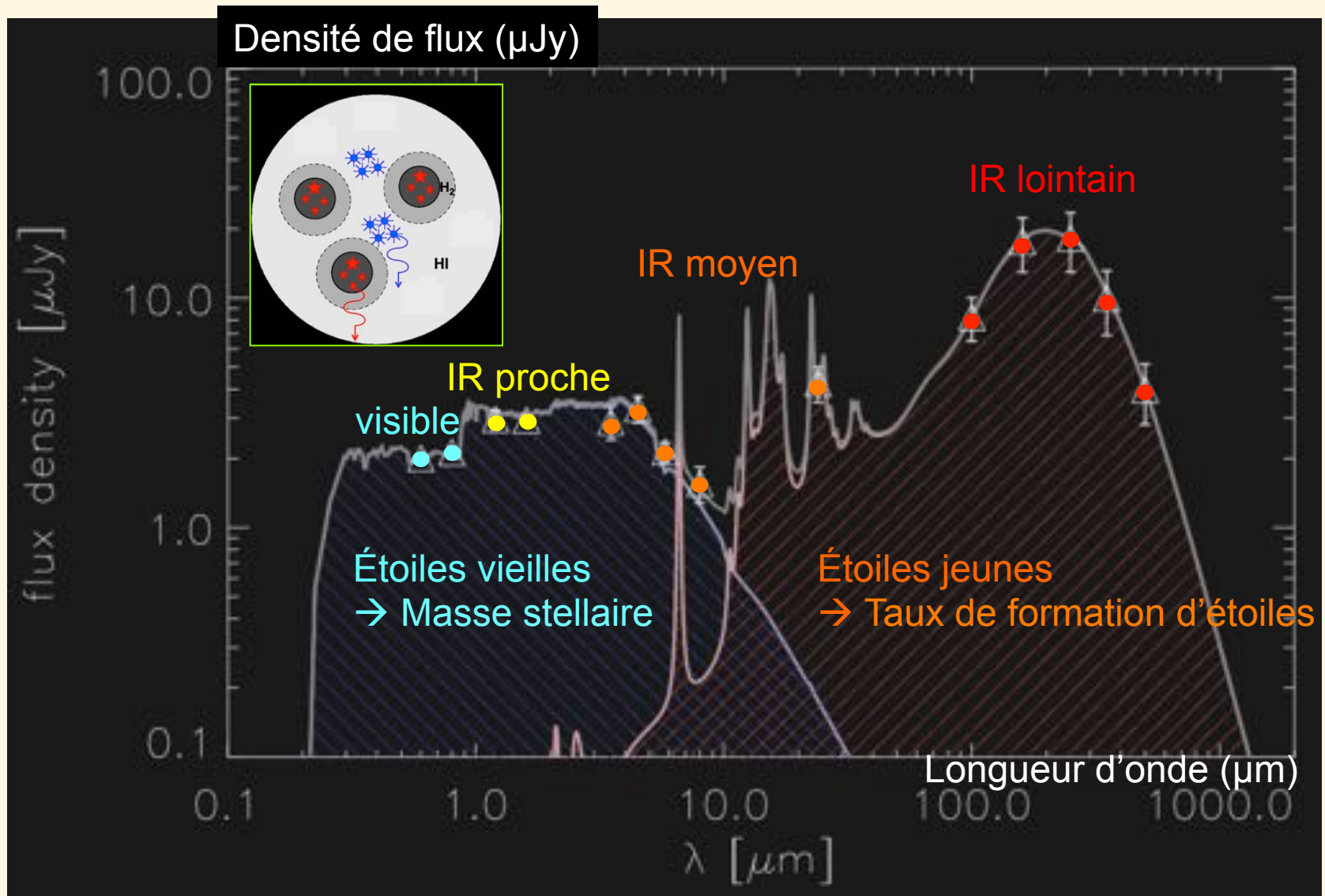
La signature infrarouge des starbursts



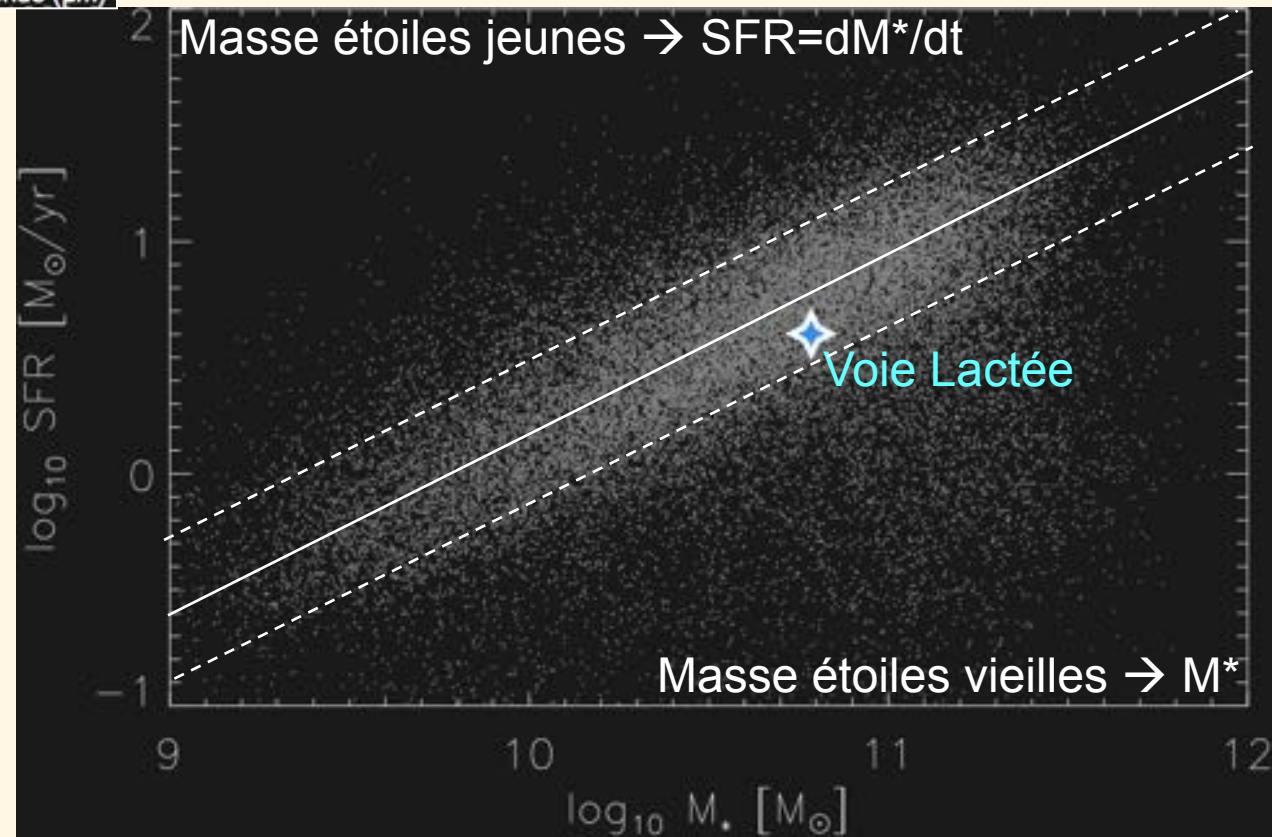
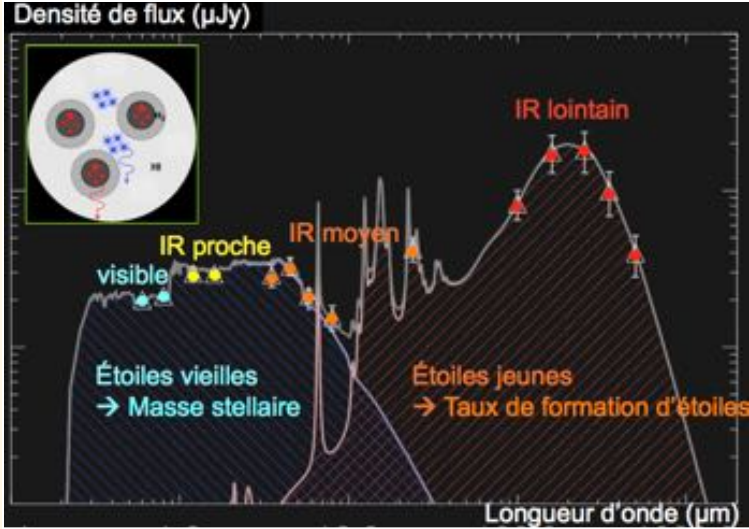
La signature infrarouge des starbursts



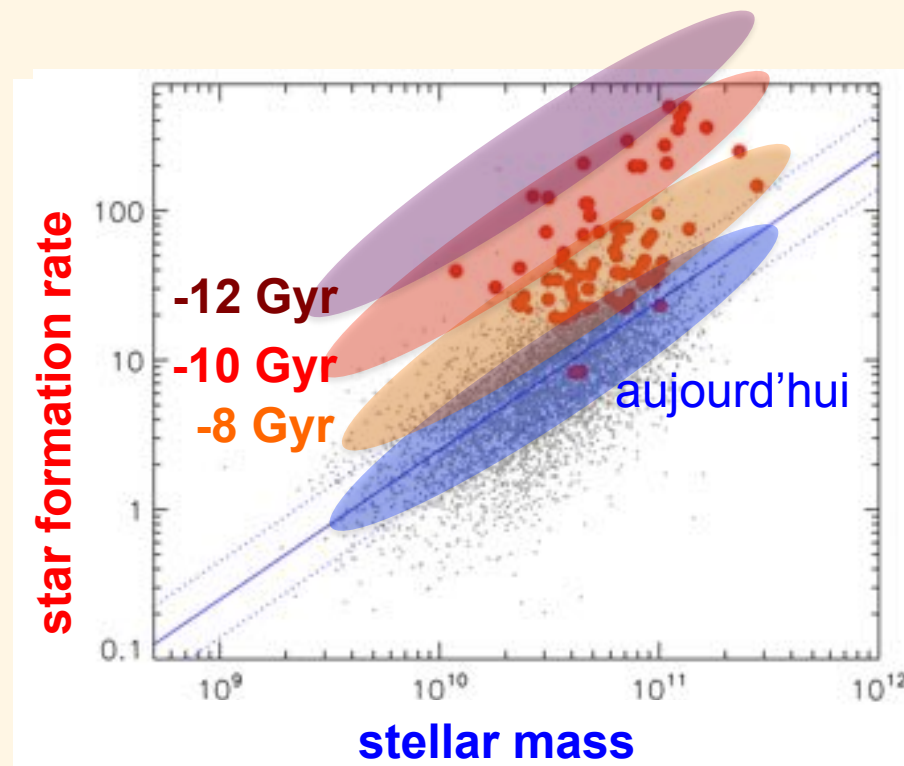
Décoder la lumière intégrée sur toute une galaxie



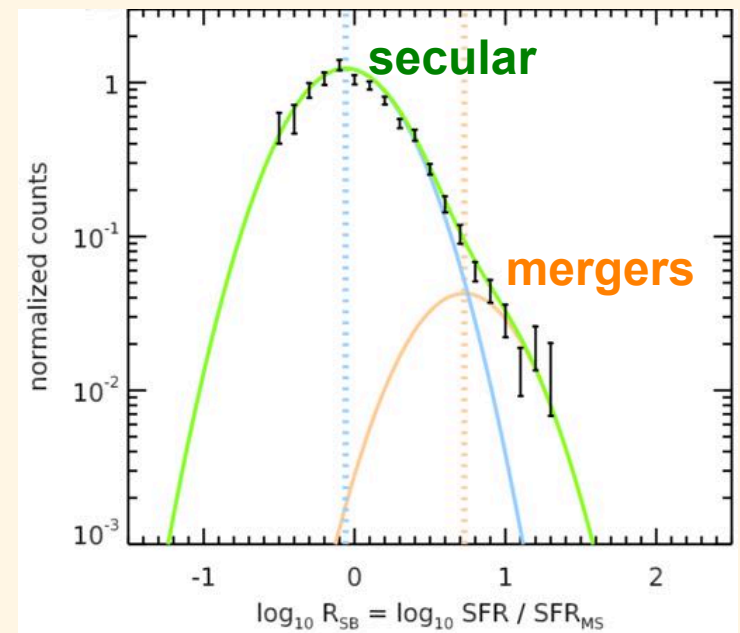
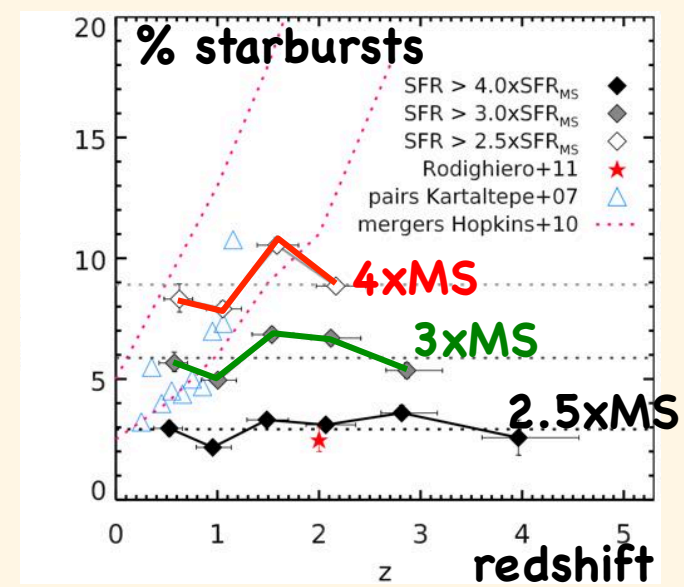
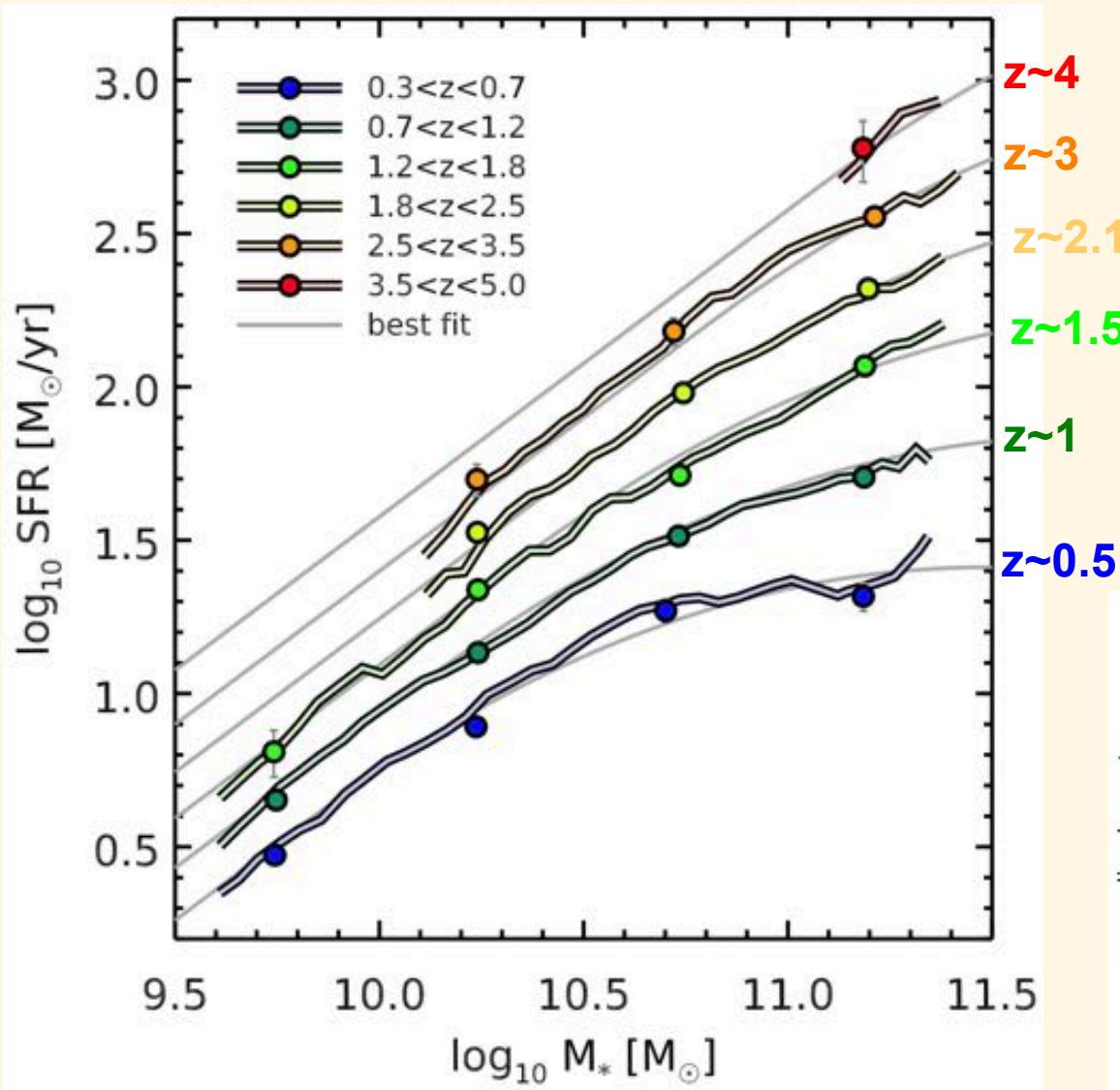
La « séquence principale » des galaxies



La « séquence principale » des galaxies



La « séquence principale » des galaxies



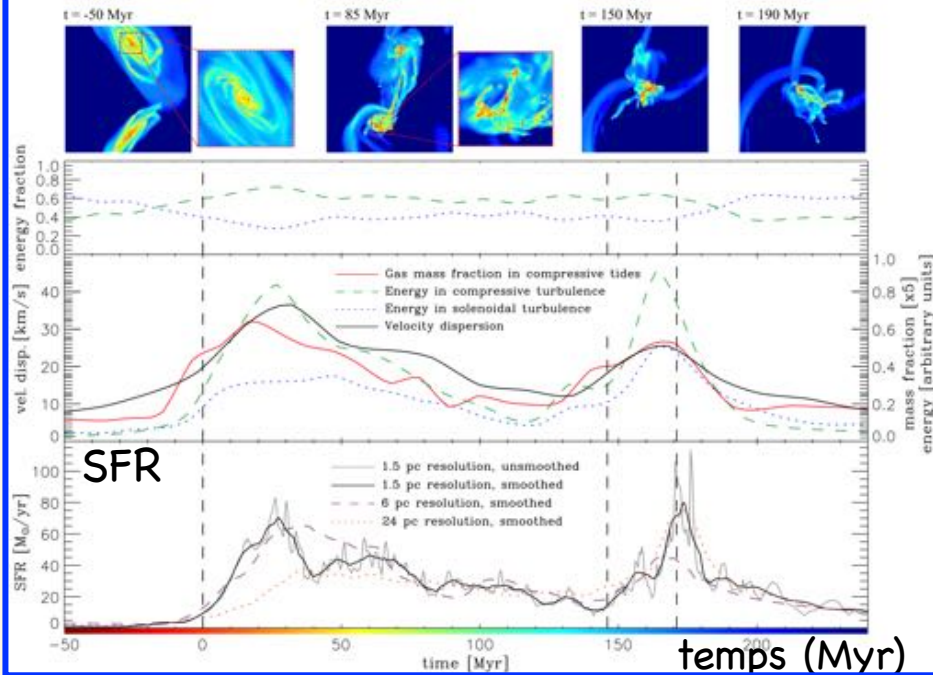
Schreiber et al. (2015)

Starbursts provoqués par la fusion de galaxies: compression efficace dans les galaxies peu riches en gaz interstellaire

dispersion de vitesse (turbulence)

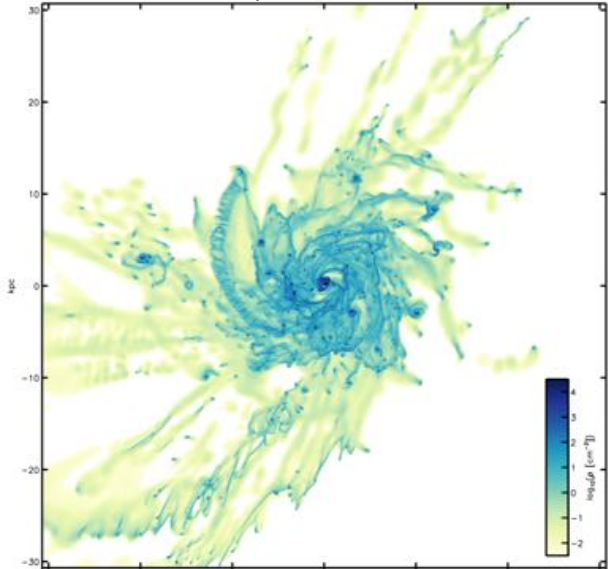
galaxie isolée: 5 km/s

fusion de galaxies: 50 km/s

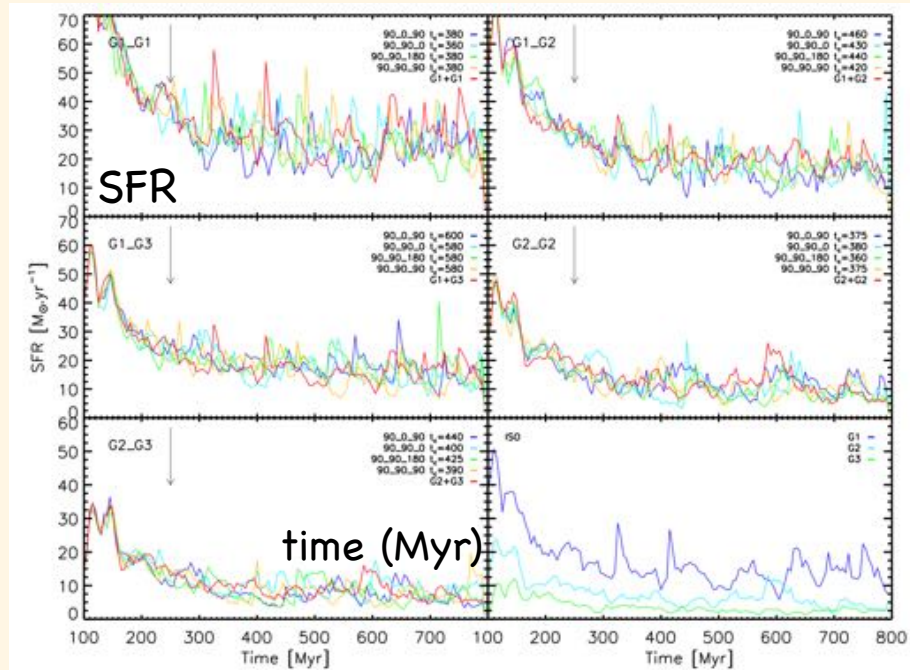


Renaud, Bournaud +2014
Prix La Recherche 2015

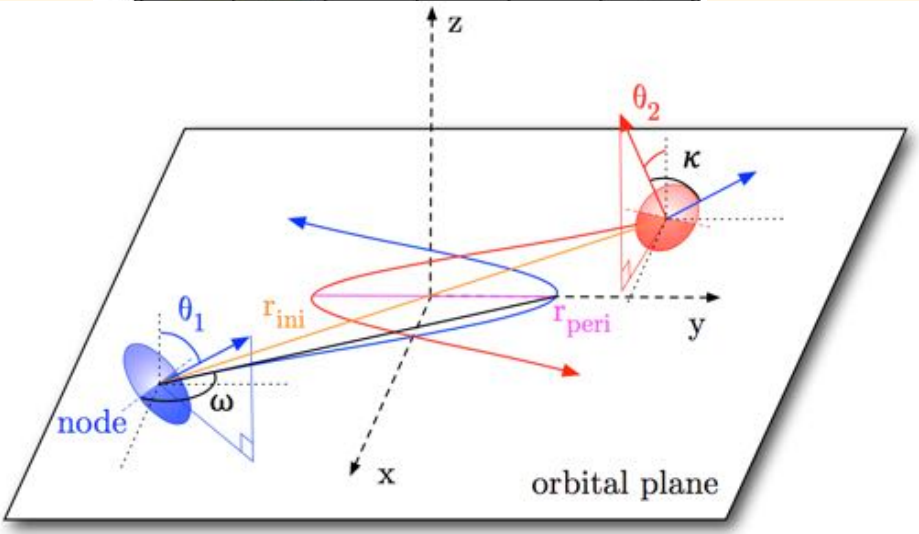
fusion de galaxies riches en gaz interstellaire: compression inefficace du gaz interstellaire, peu d'effet !



dispersion de vitesse (turbulence)
galaxie isolée: 50 km/s !
fusion de galaxies: effet négligeable !



Merging and Isolated high-Redshift Adaptive mesh refinement Galaxies (MIRAGE) Perret et al. 2014



L'énigme de la survie des galaxies



Interstellar Gas and Star Creation



By

SIDNEY VAN DEN BERGH

(Eingegangen am 29. Juni 1957)

*If no external supply is available, the gaz in the solar vicinity will be exhausted about **700 million years from now***

Le rayonnement en infrarouge lointain des galaxies provient de la poussière chauffée par les étoiles jeunes. Il permet de déterminer la masse de poussière interstellaire et d'en déduire la masse de gaz interstellaire.

Les réservoirs de matière interstellaire ne permettent aux galaxies de former des étoiles aux rythmes observés que pendant 700 millions d'années et cela à toutes les époques de l'histoire de l'univers !

Un nouveau paradigme pour la survie des galaxies: une « manne céleste »



Interstellar Gas and Star Creation

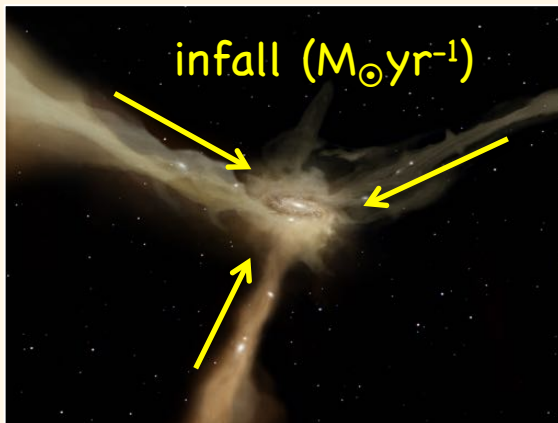


By

SIDNEY VAN DEN BERGH

(Eingegangen am 29. Juni 1957)

If no external supply is available, the gaz in the solar vicinity will be exhausted about 700 million years from now



Cold streams in early massive hot haloes as the main mode of galaxy formation

A. Dekel¹, Y. Birnboim^{1,2}, G. Engel¹, J. Freundlich^{1,3}, T. Goerdt¹, M. Mumcuoglu¹, E. Neistein^{1,4}, C. Pichon⁵, R. Teyssier^{6,7} & E. Zinger¹

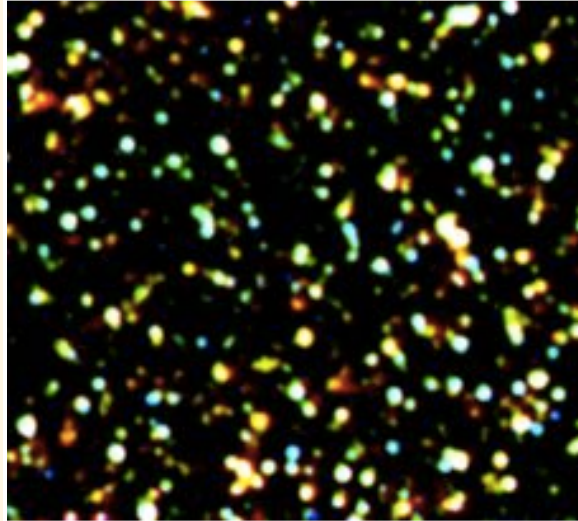
Massive galaxies in the young Universe, ten billion years ago, formed stars at surprising intensities^{1,2}. Although this is commonly attributed to violent mergers, the properties of many of these galaxies are incompatible with such events, showing gas-rich, clumpy, extended rotating disks not dominated by spheroids¹⁻⁵. Cosmological simulations⁶ and clustering theory^{6,7} are used to explore how these galaxies acquired their gas. Here we report that they are 'stream-fed galaxies', formed from steady, narrow, cold gas streams that penetrate the shock-heated media of massive dark matter haloes^{8,9}. A comparison with the observed abundance of star-forming galaxies implies that most of the input gas must rapidly convert to stars. One-third of the stream mass is in gas clumps leading to mergers of mass ratio greater than 1:10, and the rest is in smoother flows. With a merger duty cycle of 0.1,

accretion, is derived⁸ on the basis of the extended Press-Schechter (EPS) theory of gravitational clustering (Supplementary Information, section 1) or from cosmological simulations^{6,17}. For Λ CDM, the corresponding growth rate of the baryonic component is approximately

$$\dot{M} = 6.6 M_{12}^{1.15} (1+z)^{2.25} f_{0.165} M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \quad (1)$$

where $M_{12} = M_{\ast}/10^{12} M_{\odot}$ and $f_{0.165}$ is the baryonic fraction in the haloes in units of the cosmological value, $f_b = 0.165$. Thus, at $z = 2.2$, the baryonic growth rate of haloes of mass $2 \times 10^{12} M_{\odot}$ is $\dot{M} = 200 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, sufficient to maintain the SFR in SFGs. However, the margin by which this is sufficient is not large, implying that (1) the incoming material must be mostly gaseous, (2) the cold gas must efficiently penetrate into the inner halo and (3) the SFR must closely follow the gas supply rate.

Échelle cosmologique
10 millions d'années-lumière



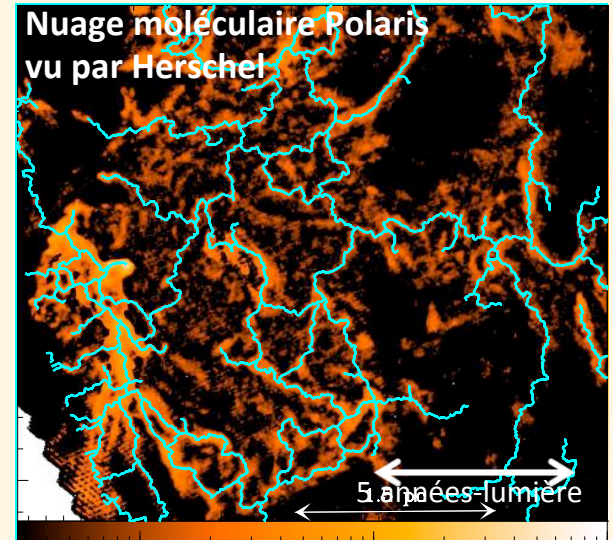
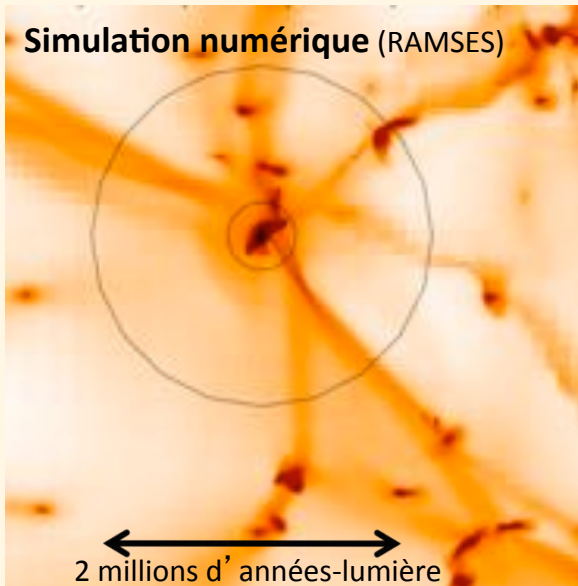
Galaxies
10 000 années-lumière

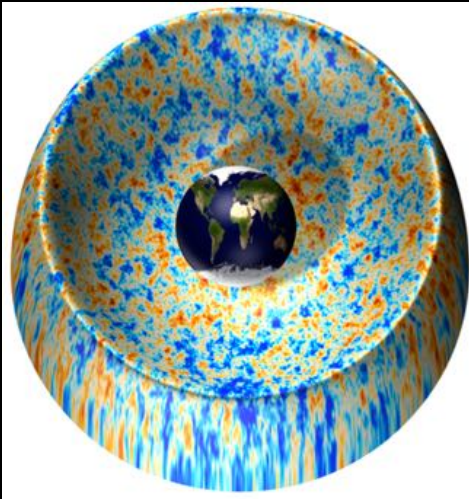


Régions de formation d'étoiles
10 années-lumière



Simulation numérique (RAMSES)



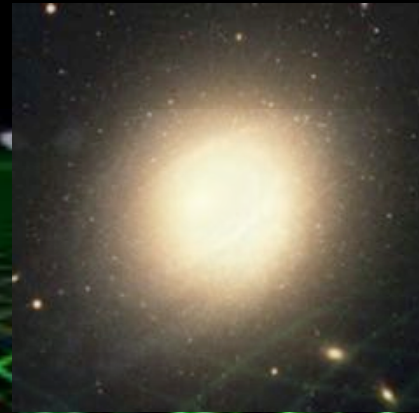
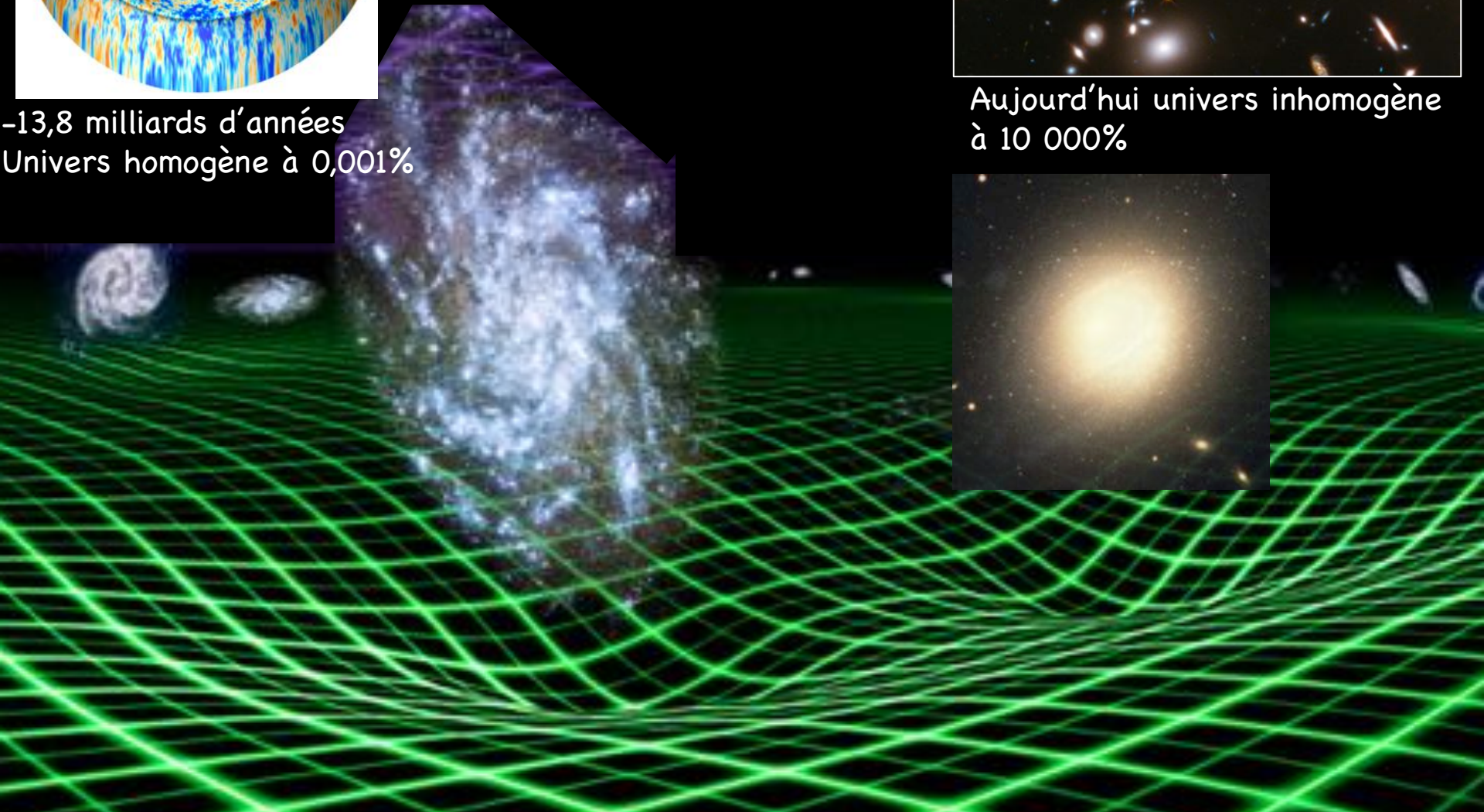


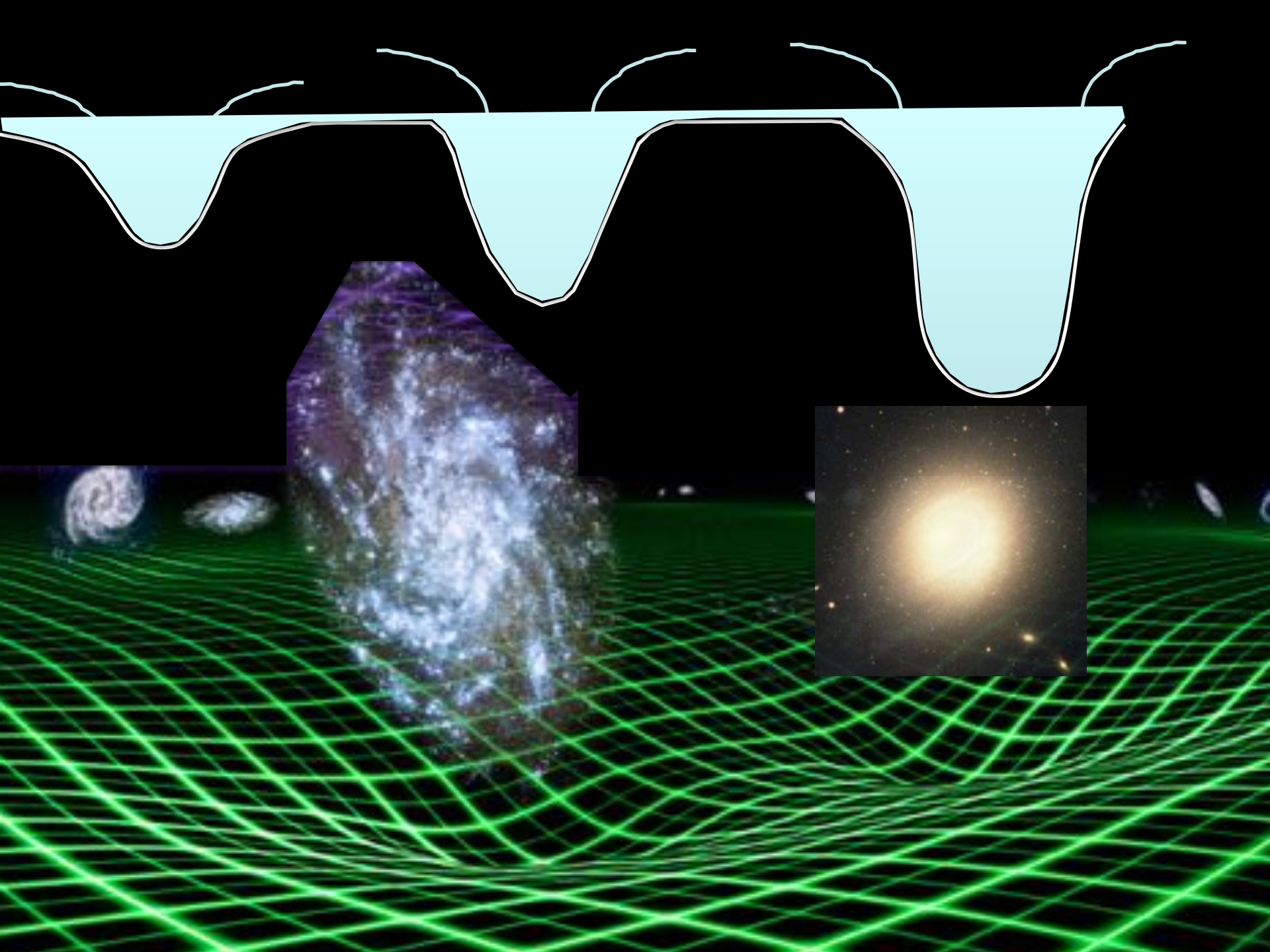
Fond diffus cosmologique

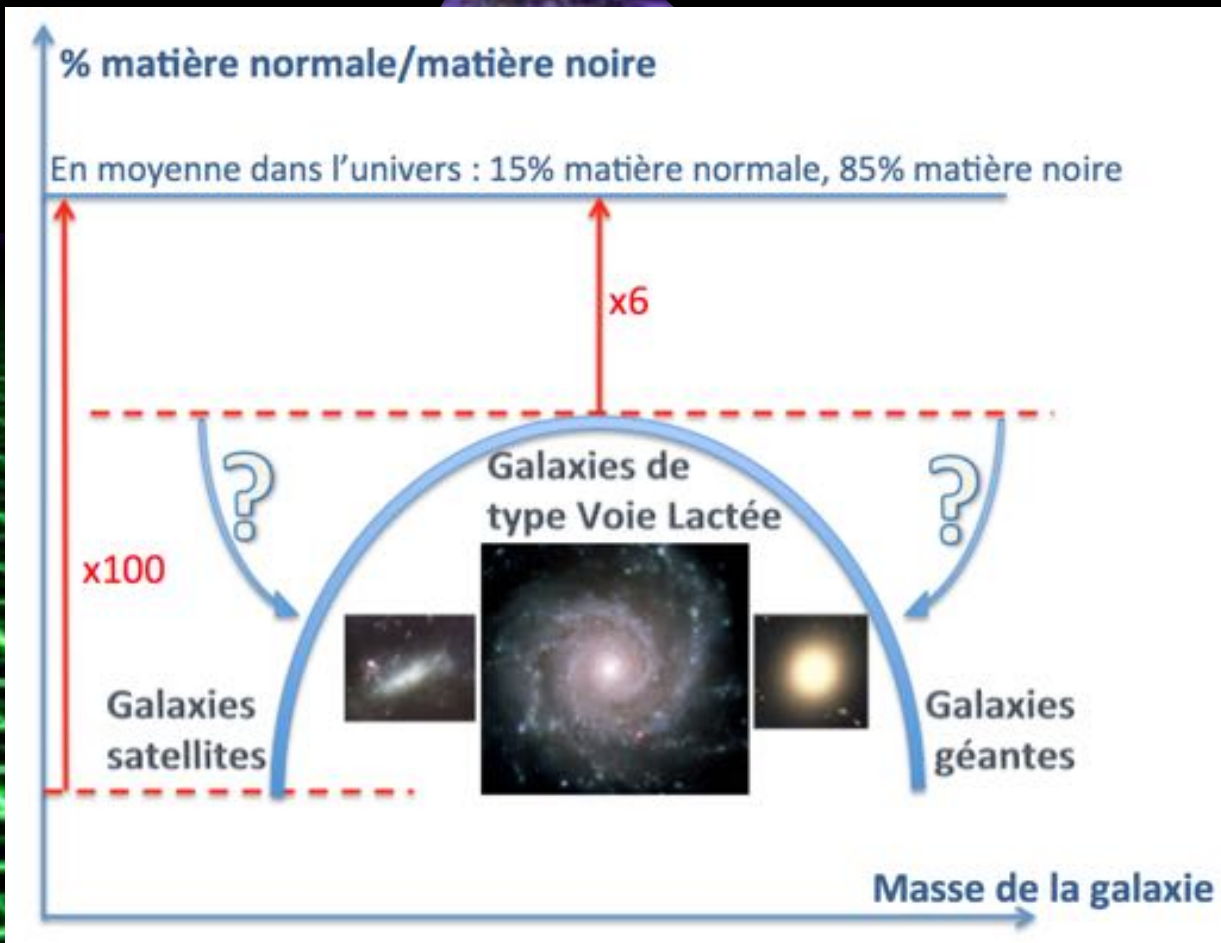
-13,8 milliards d'années
Univers homogène à 0,001%

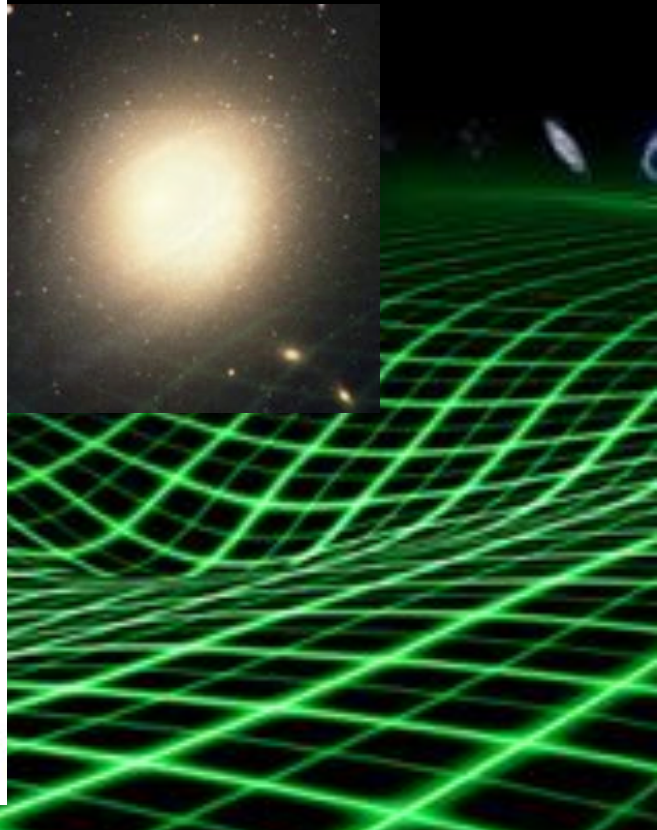
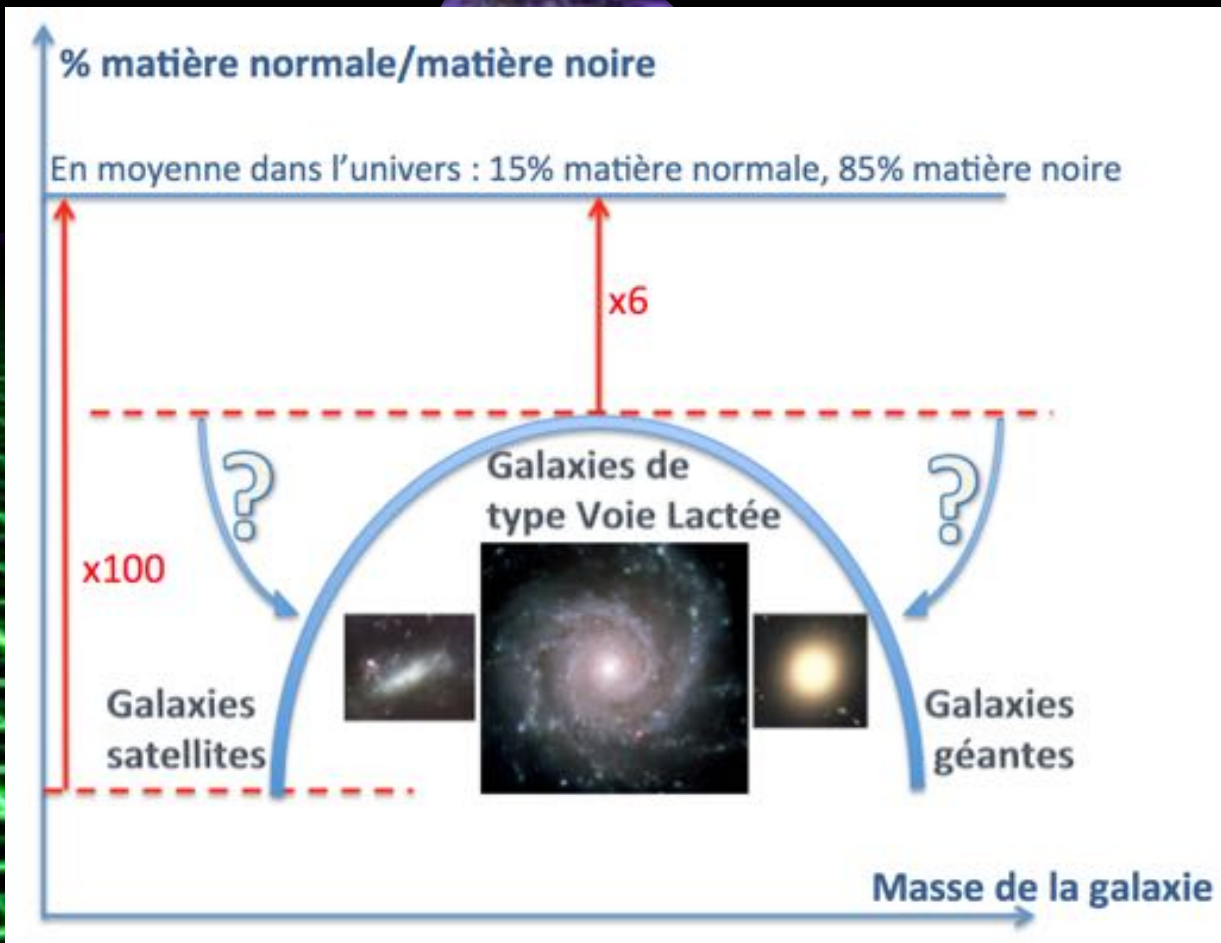
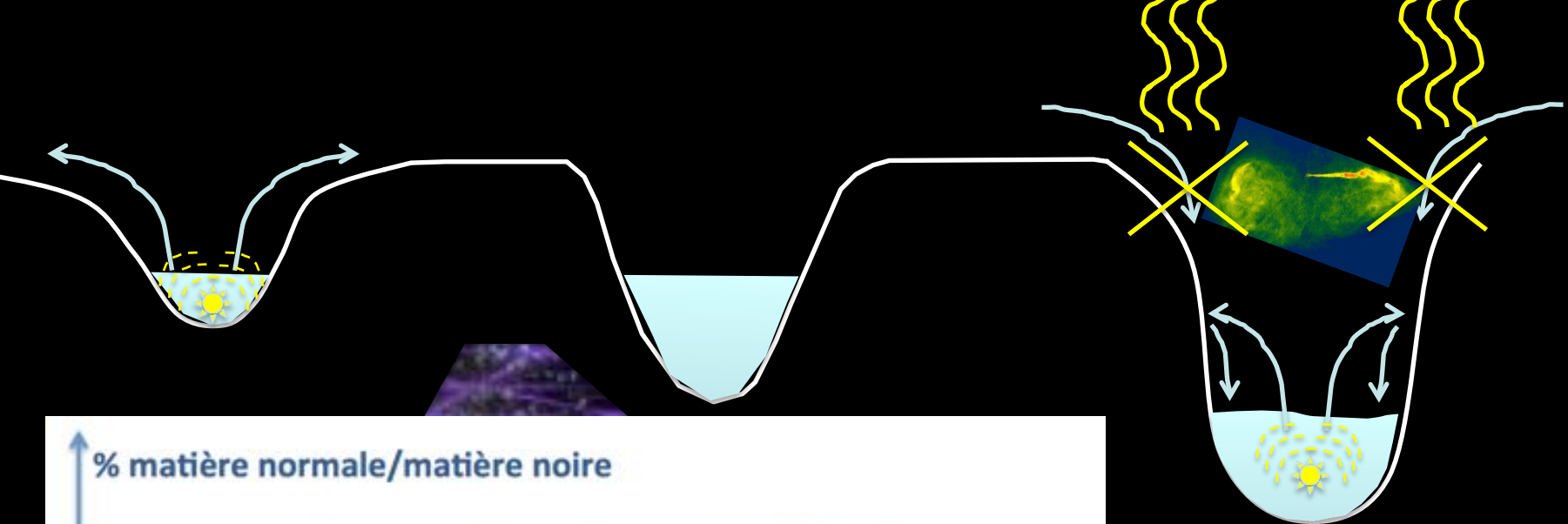


Aujourd'hui univers inhomogène
à 10 000%

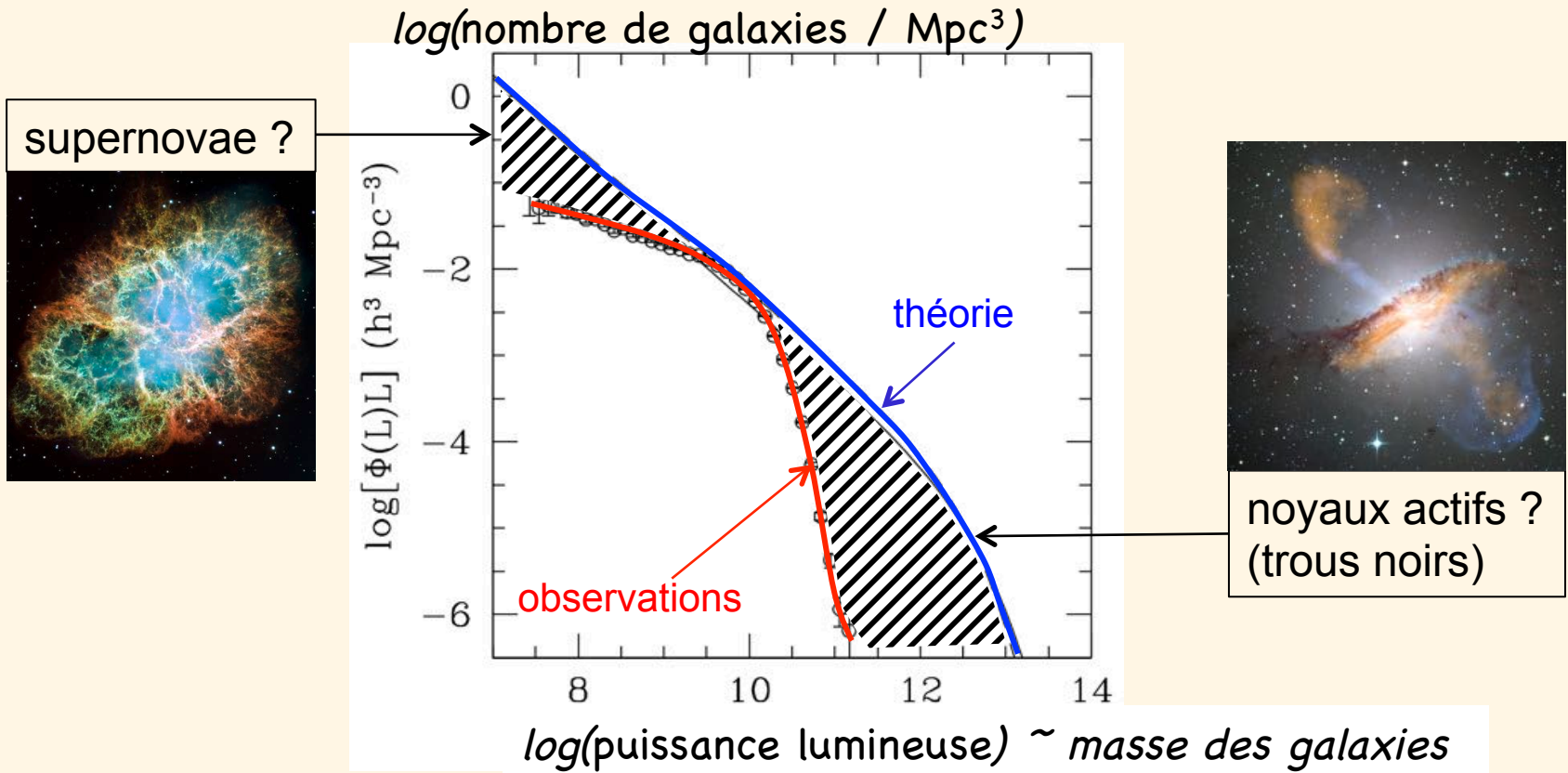








Le « feedback » peut-il réconcilier la théorie et les observations ?



observations: fonction de luminosité 2dFGRS dans la bande bleue

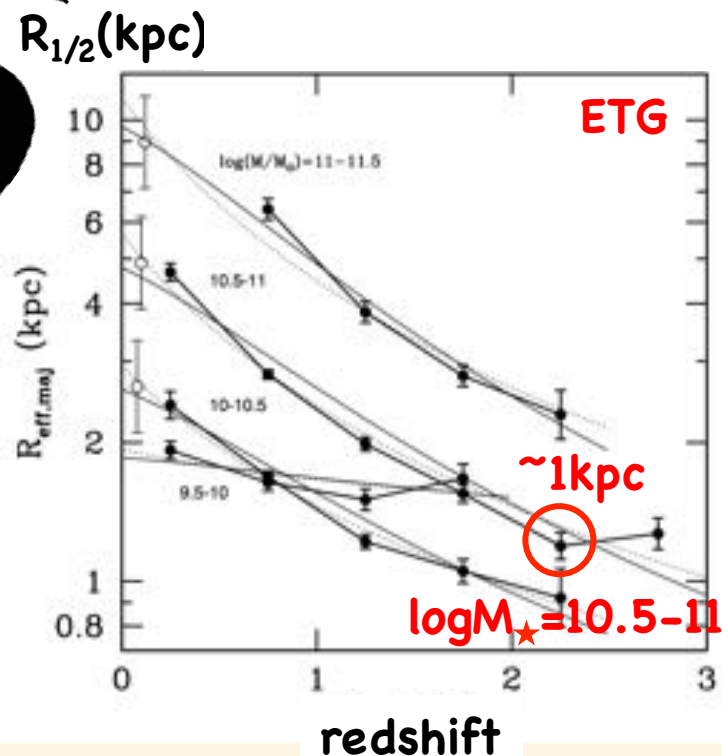
théorie: fonction de masse des halos de matière noire (Press-Schechter)

convertie en fonction de luminosité en supposant $M/L=100$

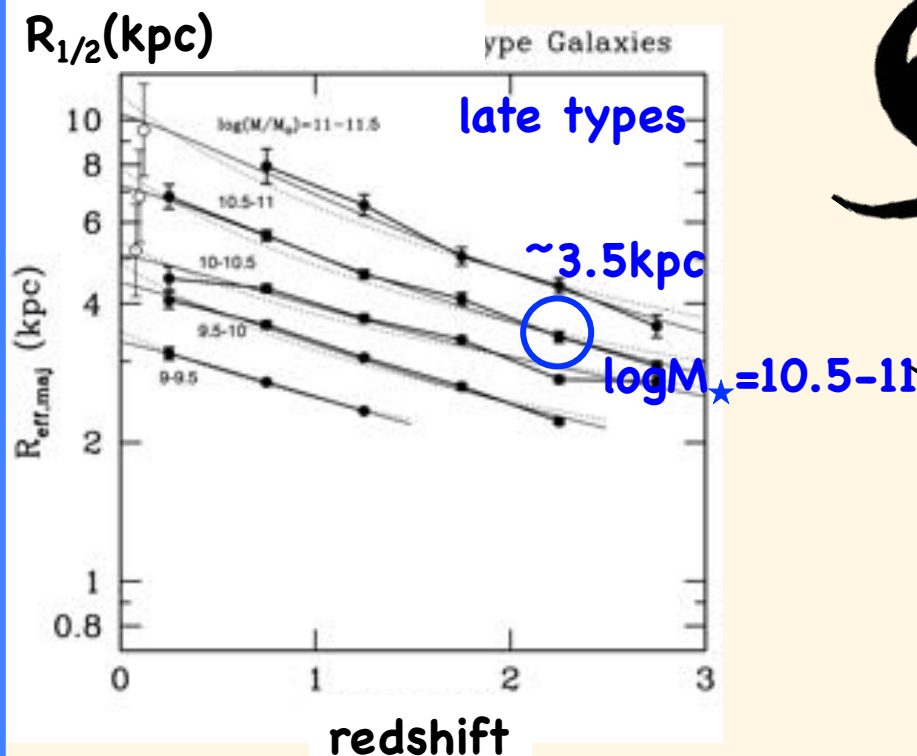
Xiaohu Yang, H. J. Mo, Frank C. van den Bosch,
Mon. Not. R. Astron. Soc. 339, 1057, 2003

Quelle est l'origine des galaxies ultra-compactes « mortes » 3 milliards d'années après le Big Bang ?

Galaxies passives elliptiques



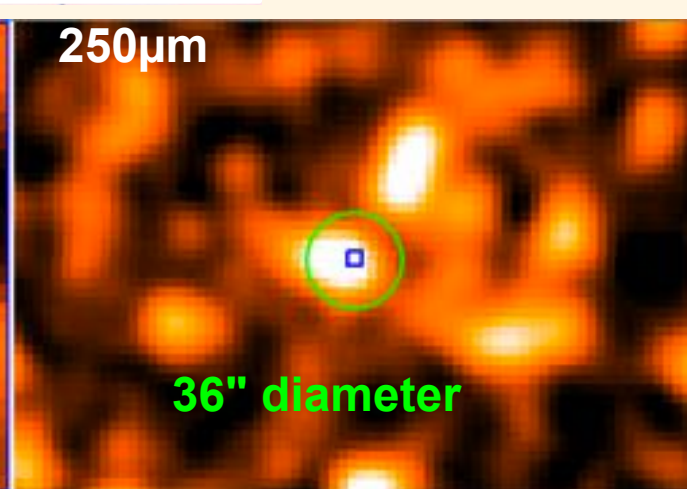
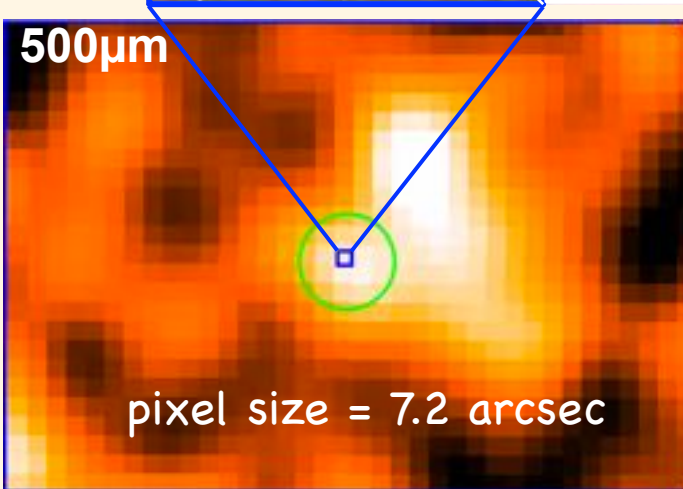
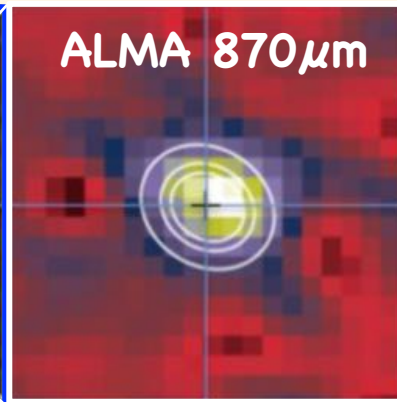
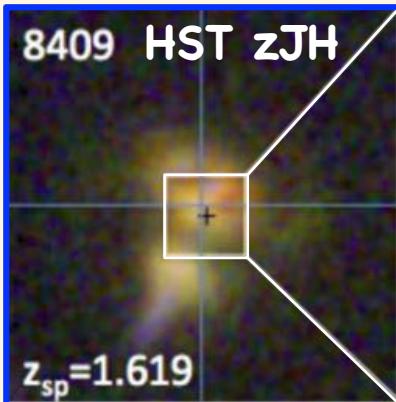
Galaxies à formation d'étoiles



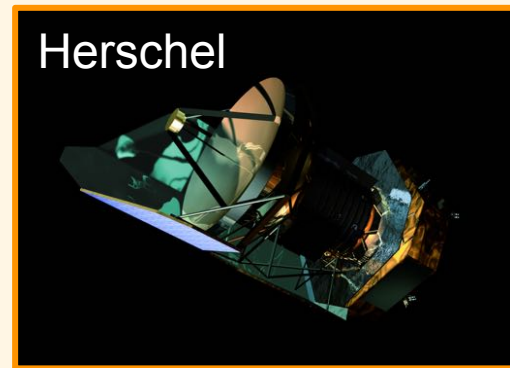
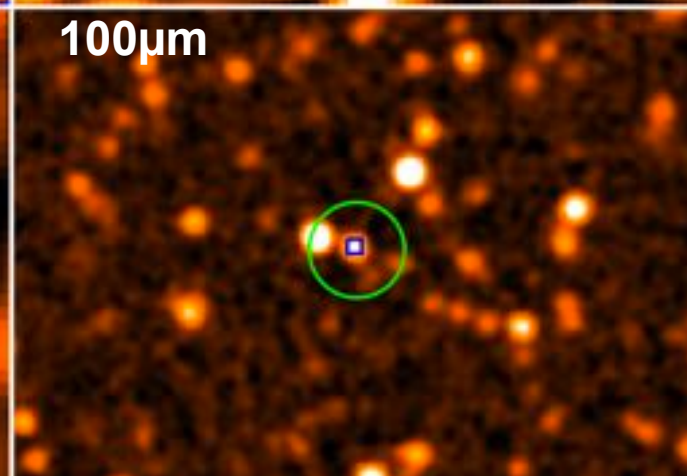
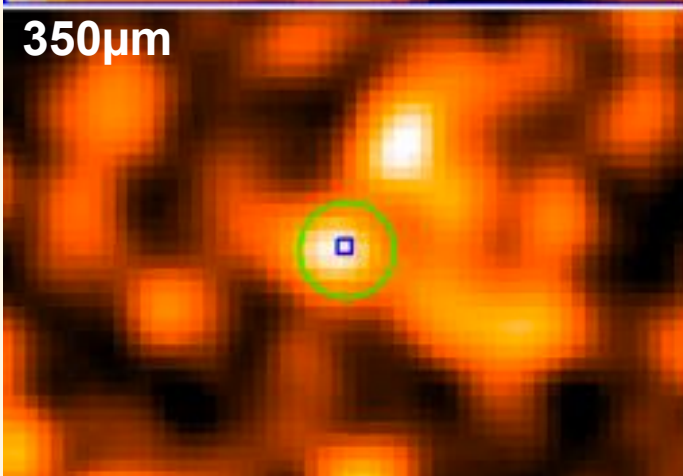
observations à 5000Å (dans le référentiel au repos)
van der Wel +14

ALMA



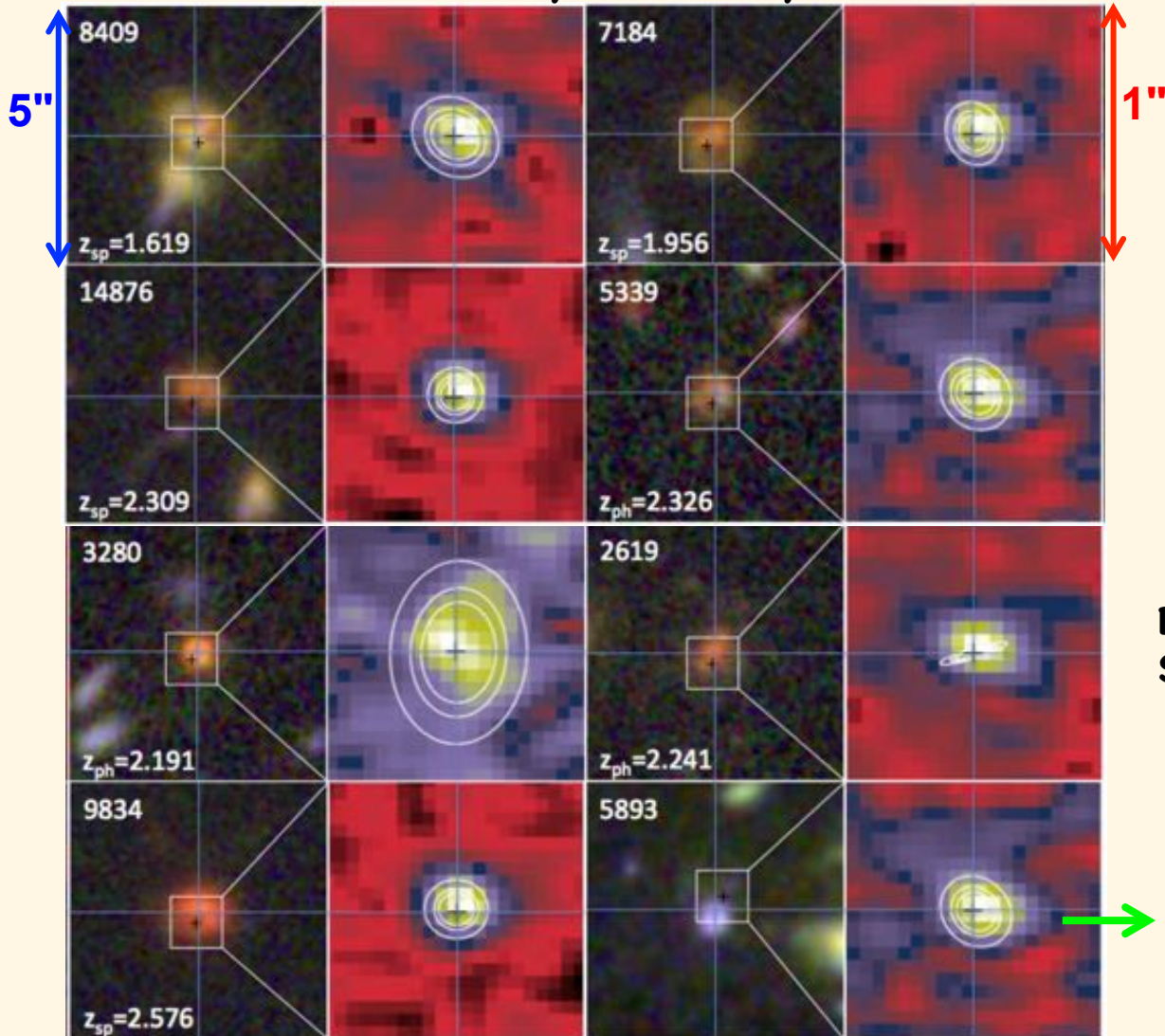


ID8409
 $z=1.619$



ALMA Cycle 1 (band 7, 870 μ m) : ULIRGs at $z \sim 2 \rightarrow$ IR sizes

HST zJH ALMA 870 μ m \rightarrow 250 μ m rest-frame

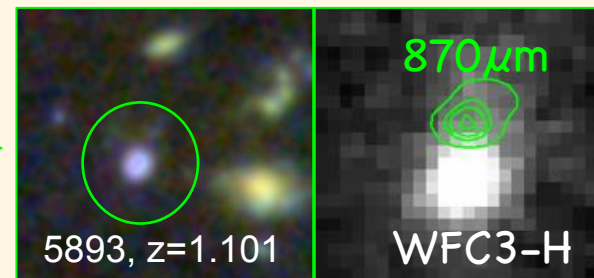


ALMA 870 μ m
0.2 arcsec resolution

Contours:
50%, 68%, 90% 870 μ m flux

ALMA: 4.9h, 35min/object

Elbaz, Okumura, Leiton,
Schreiber, Nagar et al. in prep



Starbursts et noyaux actifs: quel lien de parenté ?...

- Les premières galaxies à se former et à stopper de former des étoiles sont ultra-compactes
 - Les plus compactes possèdent un noyau actif
- cela suggère un lien entre la naissance des galaxies et les noyaux actifs
- Le consensus général suppose que les étoiles et les trous noirs grandissent en parallèle de manière indépendante pourtant...

Nous entrons maintenant dans le domaine du spéculatif:

Et si les noyaux actifs participaient à la naissance des galaxies ?...

NGC1277: une galaxie au trou noir 590 fois plus massif qu'il ne devrait !

J0100+2802: une galaxie avec un trou noir supermassif de 12 milliards de masses solaires 900 millions d'années après le Big Bang.

→ deux énigmes qui n'en font qu'une ?

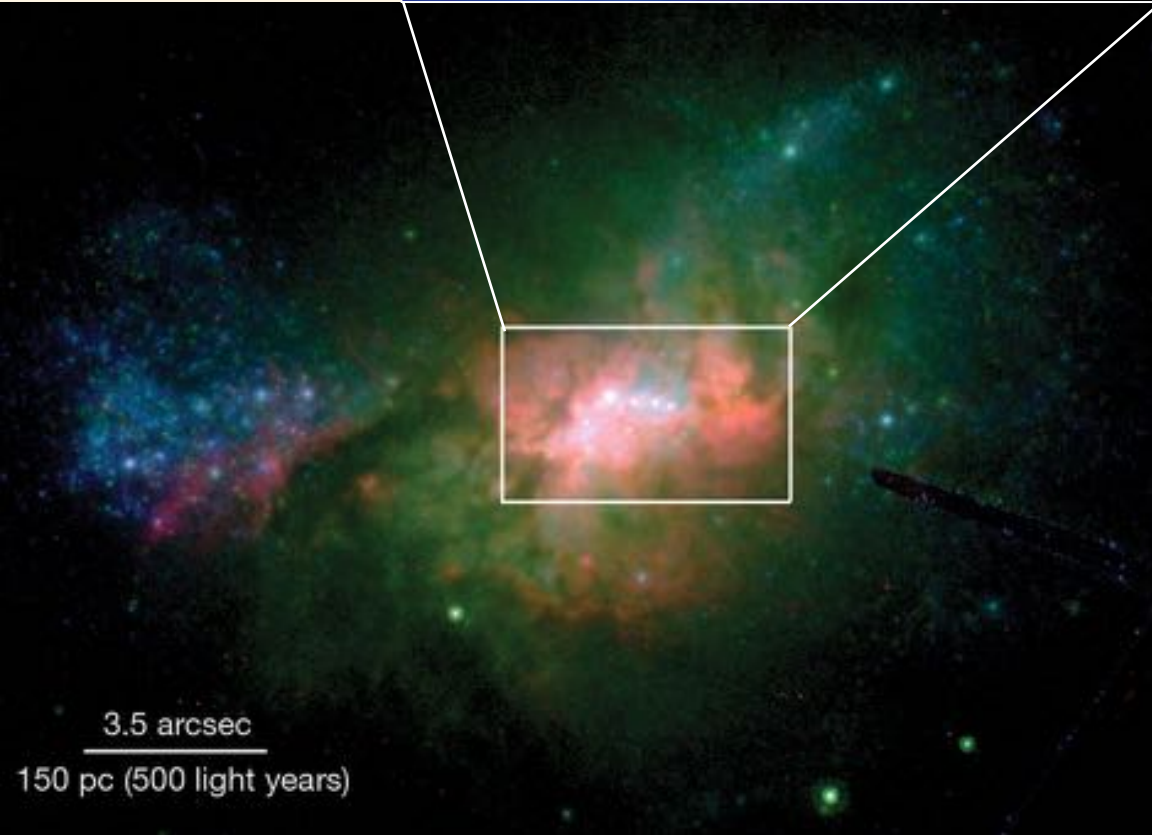
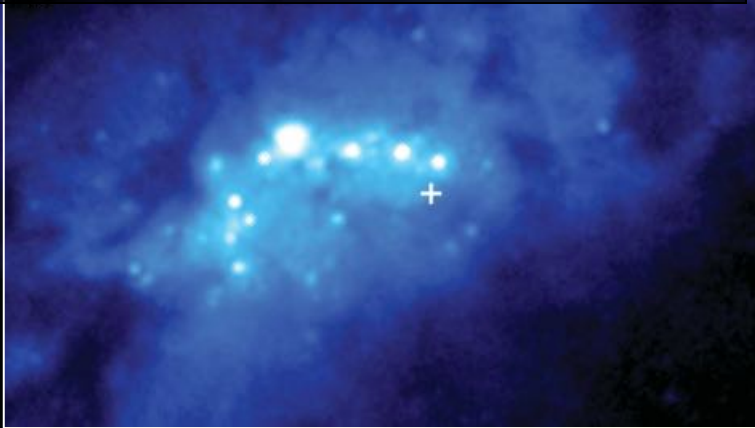
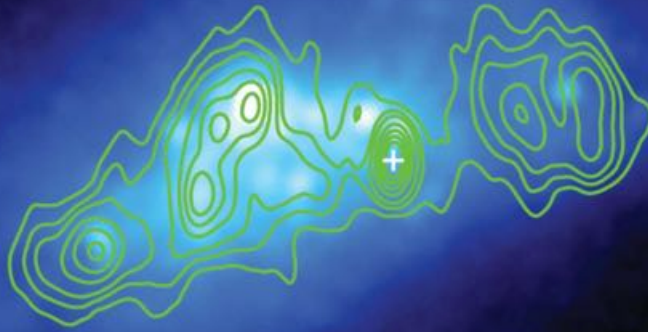
Galaxies ultra-compactes et formation des trous noirs supermassifs

Formation d'étoiles induite:

le cas de Henize 2-10

Henize 2-10

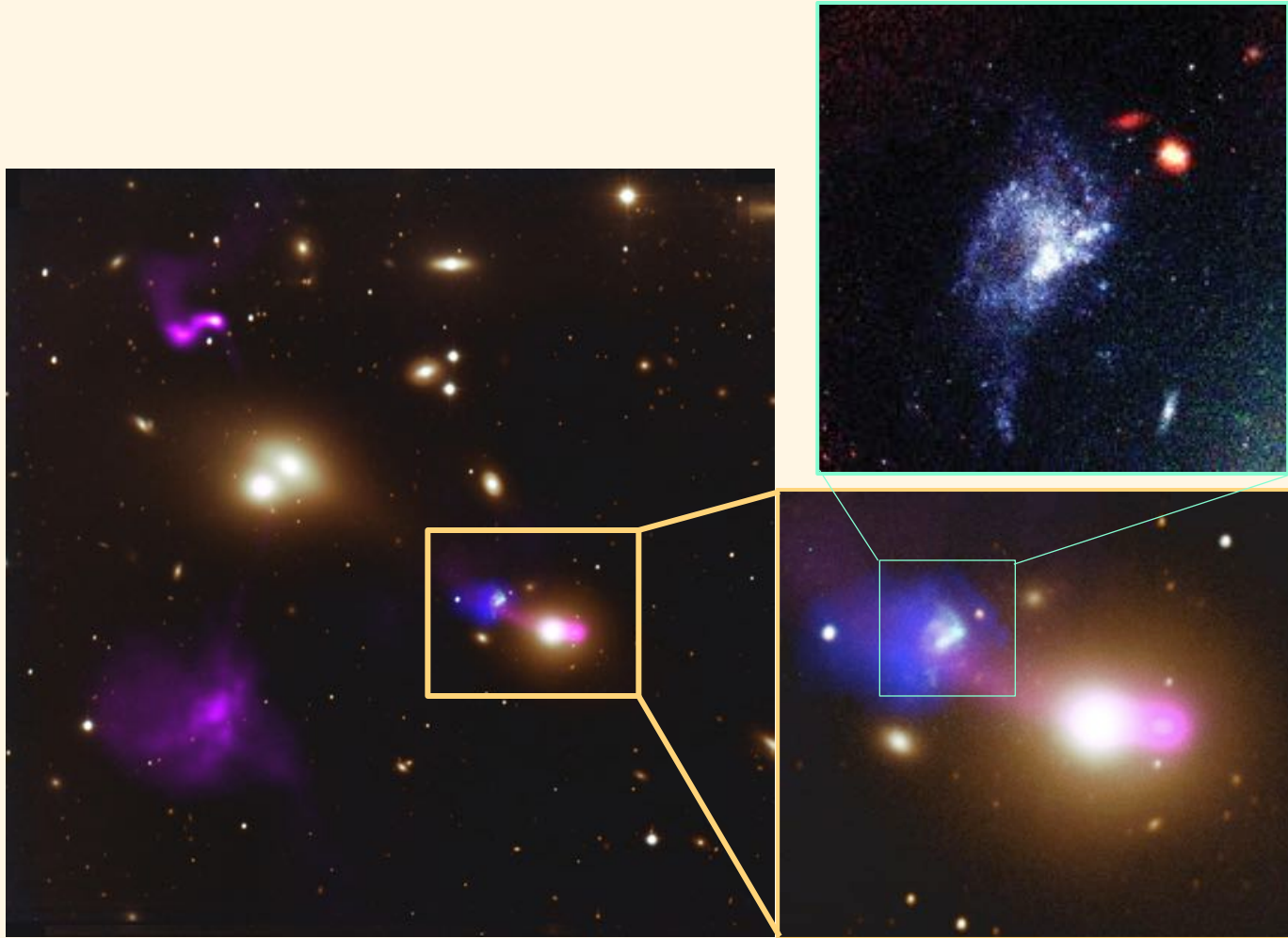
Reines +2011
Nature 470, 66



3.5 arcsec
150 pc (500 light years)

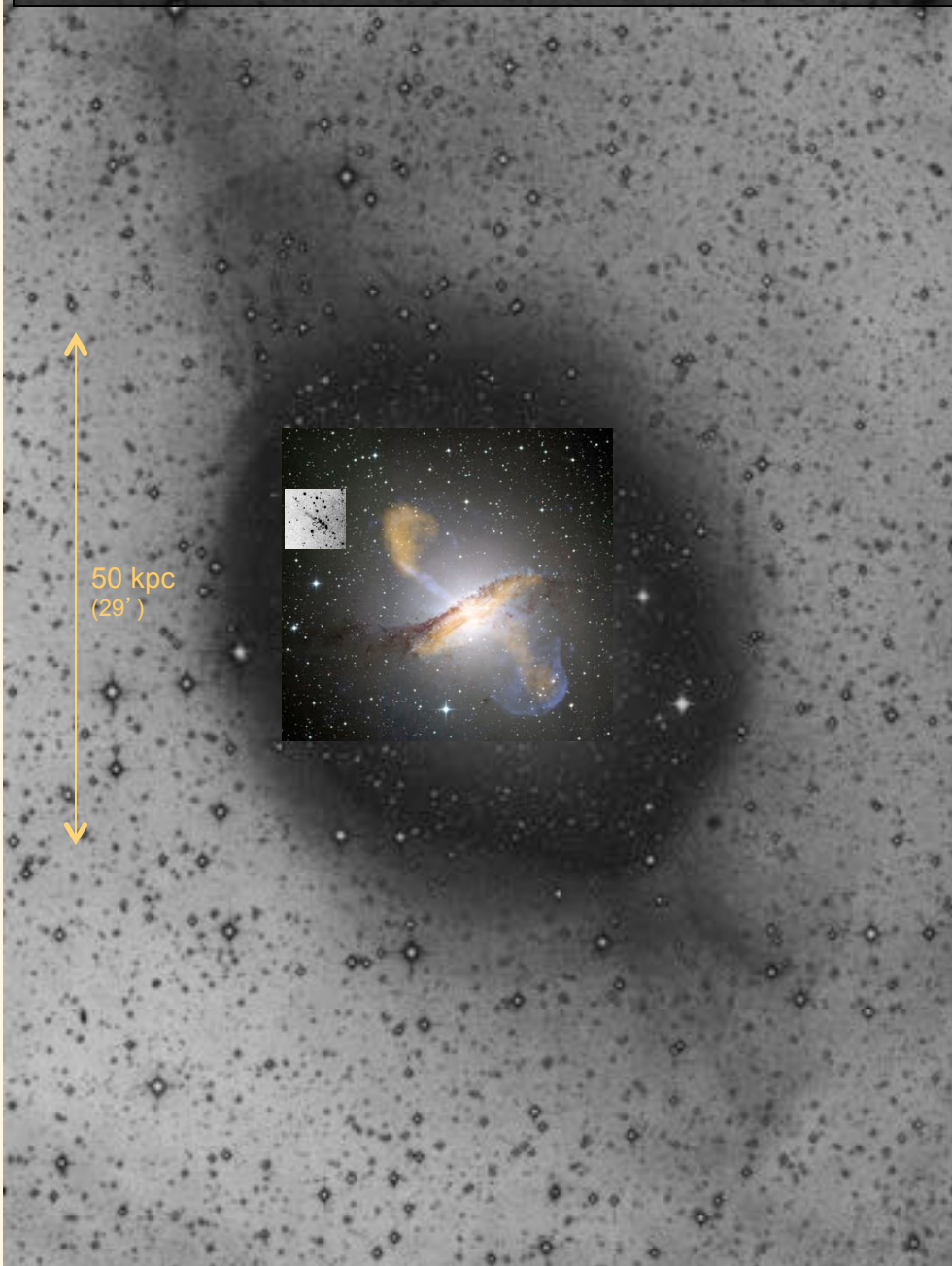
Formation d'étoiles induite: le cas de l'objet de Minkowski

Une galaxie de 7,5 millions d'années (19 millions de masses solaires) alignée avec le jet radio du noyau actif NGC541 dans l'amas de galaxies Abell 194 (van Brugel +85, Croft et al. 2006)

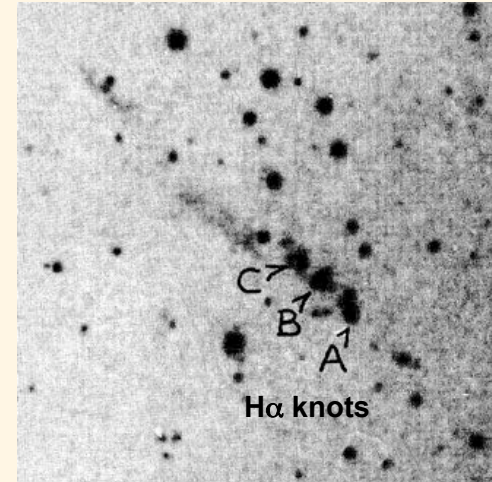


Formation d'étoiles induite:

le cas de Centaurus A

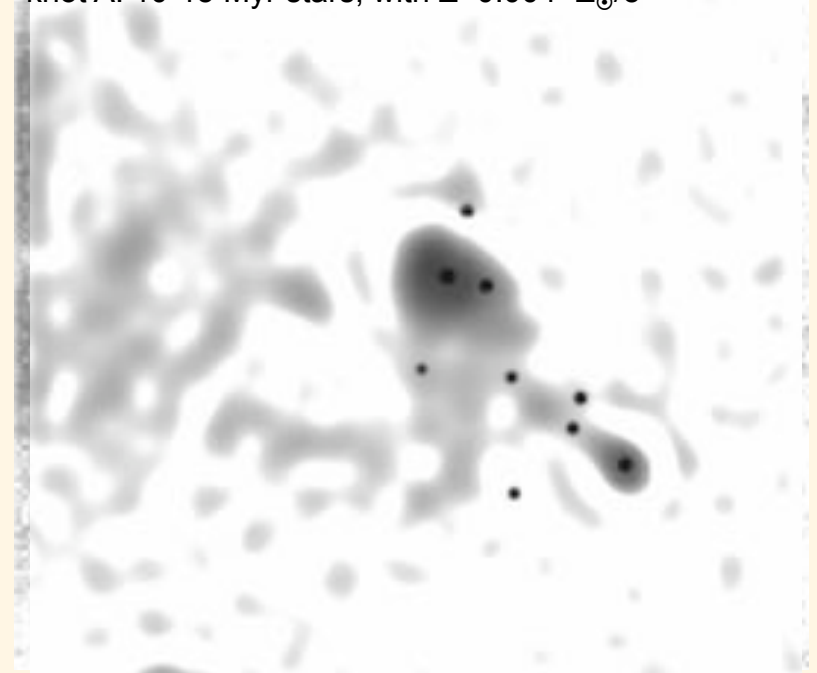


50 kpc
(29')



H α knots

Rejkuba +02 (Magellan @ Las Campanas + FORS)
knot A: 10-15 Myr stars, with $Z=0.004=Z_{\odot}/5$



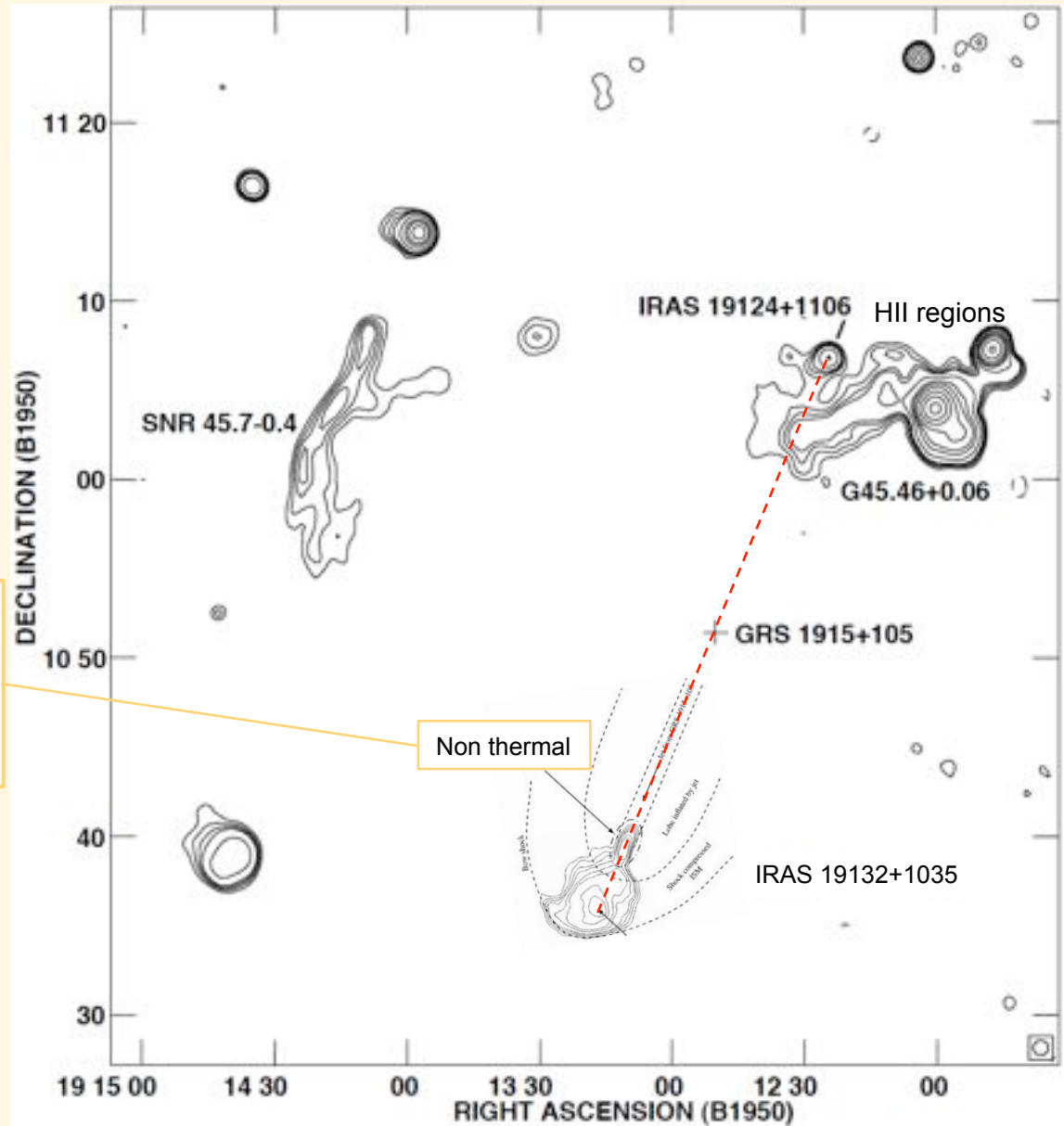
2 bright IRAS/radio sources

(IRAS 19124+1106 & IRAS 19132+1035) :

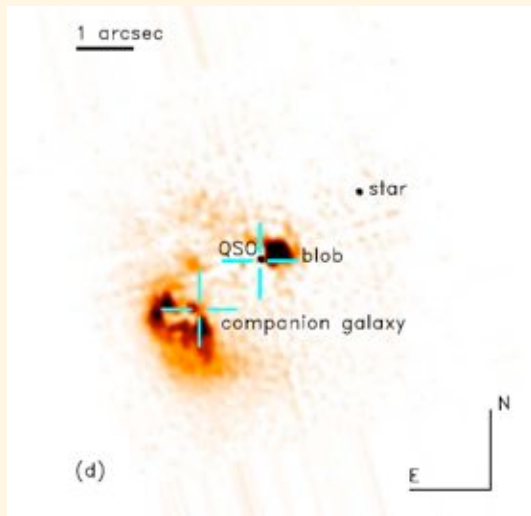
- aligned with the jets of GRS 1915
- ~ H II regions ionized by late O or early B stars

It could be a non-thermal jet produced by the interaction of the ejecta from GRS 1915+105 with the H II region. Furthermore, it can be speculated that the interaction of the relativistic ejecta with the molecular cloud at this position (Chaty et al. 1998) could have induced star formation.

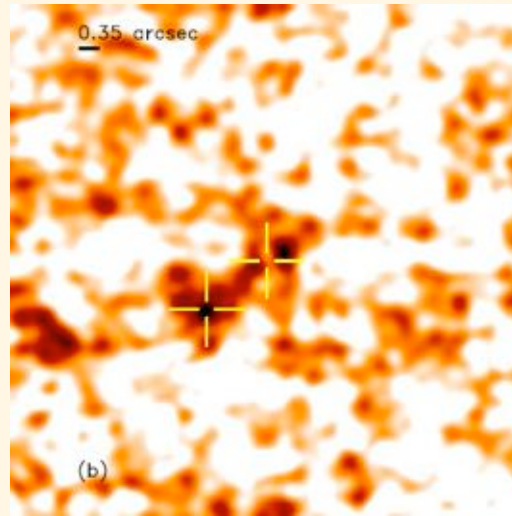
VLA mosaic at 20-cm of the surroundings of GRS 1915+105 (Rodriguez & Mirabel 98)



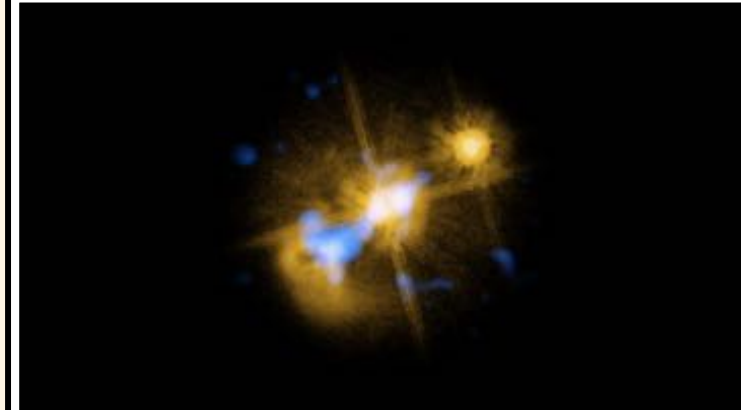
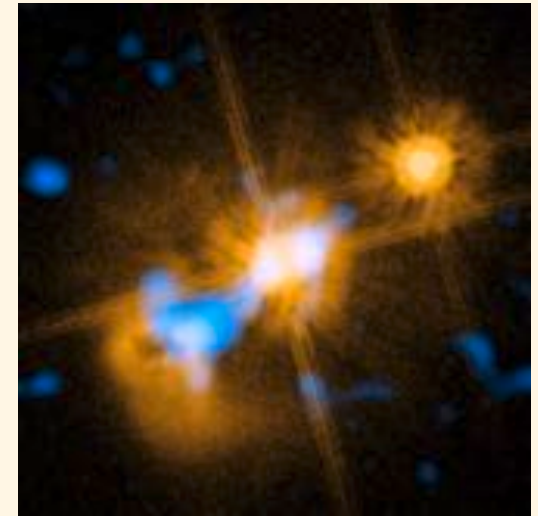
Formation d'étoiles induite: le cas de HE0450-2958



Hubble space telescope



Camera VISIR at VLT (ESO)

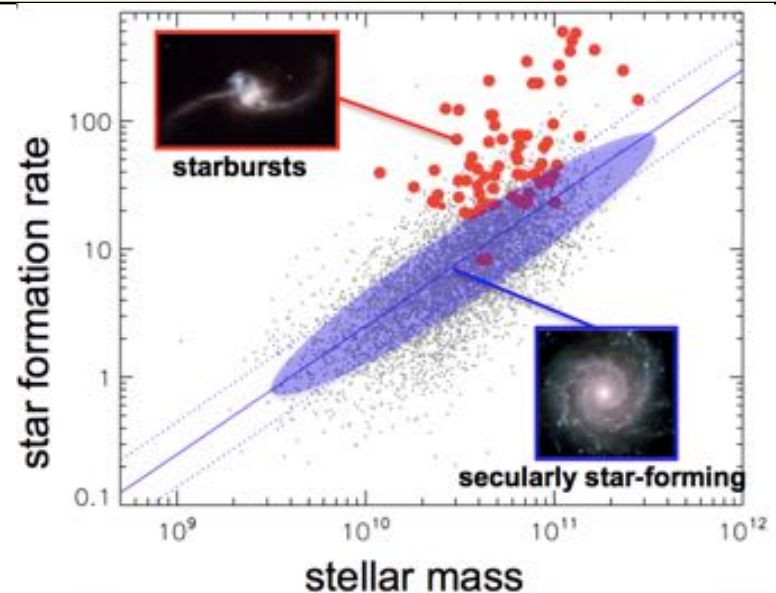
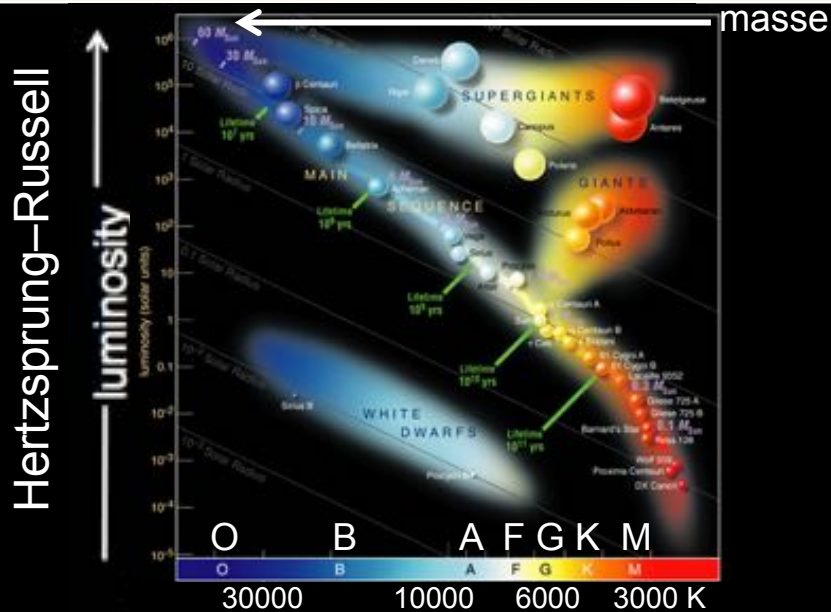


Elbaz et al 2009

Un paradoxe pour conclure

- les galaxies forment peu d'étoiles en starbursts, elles reçoivent une manne céleste qui reste à découvrir: les courants froids ou *cold flows* ?
- un mécanisme s'oppose à la gravité et arrête l'apport de matière extragalactique dans les galaxies elliptiques: *starbursts et noyaux actifs ? (feedback négatif)* à moins que l'apport ne s'arrête autrement ?
- un mécanisme facilite la gravité et apporte de manière très efficace de la matière au centre des galaxies elliptiques ! *starbursts et noyaux actifs ? (feedback positif)*
ces galaxies meurent en premier...

Analogie entre la séquence principale des étoiles et des galaxies



Stars spend most of their life on the MS
 Massive stars exhaust quickly their reservoirs
 Stars loose a large % of their mass in winds
 Red stars (giants, AGB) are less common, more luminous and dusty
 Universal efficiency of light production : $0.007 \Delta m c^2 \rightarrow \text{light}$
 Massive stars produce massive black holes

Galaxies spend most of their life on the MS
 Massive gals exhaust quickly their reservoirs
 Galaxies loose a large % of their mass in winds
 Starbursts are red, less common, more luminous and dusty
 Universal efficiency of light production : $\text{SFR} = 4 \times 10^8 M_{\text{dense}}$
 Massive galaxies produce supermassive BH

Dying stars = 10^9 times more luminous

Dying galaxies more luminous ? (starbursts ?)