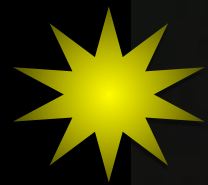


# Résultats récents de *Herschel*

David Elbaz – CEA Saclay/Irfu/SAp



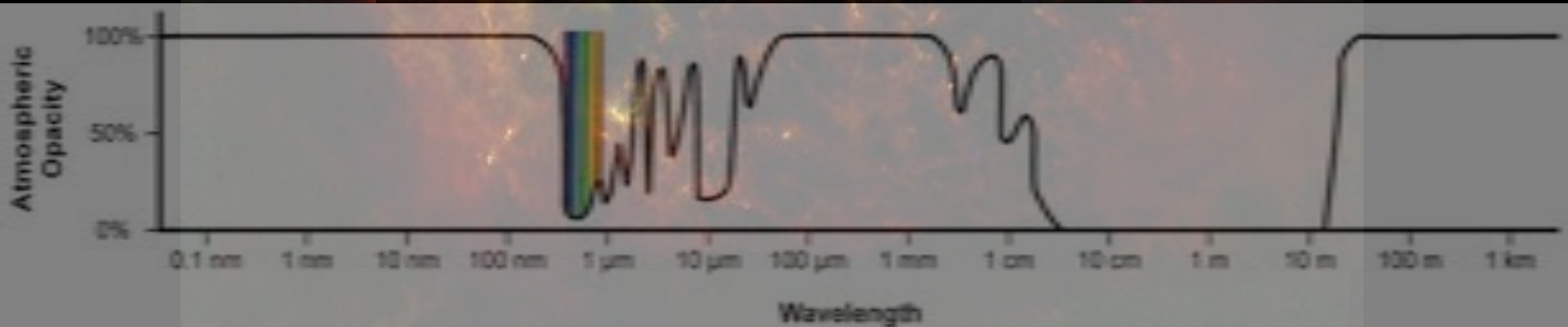
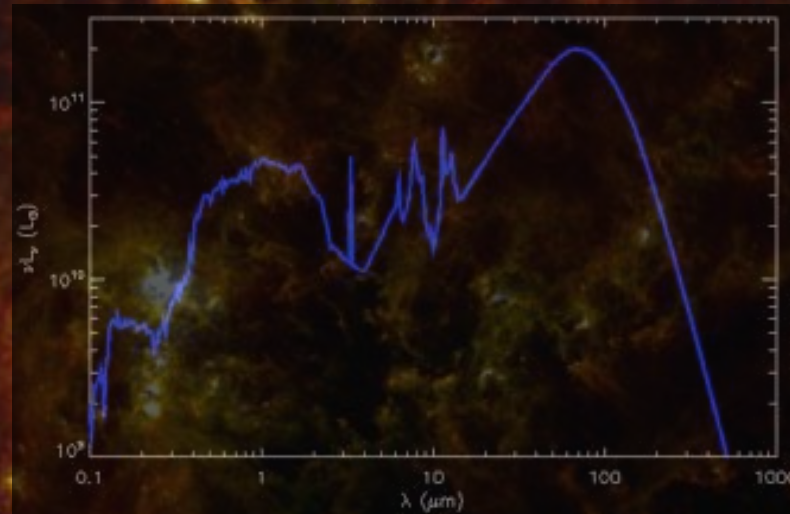
Étoile

Lumière visible



Grain

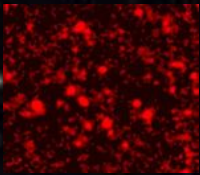
Lumière infrarouge



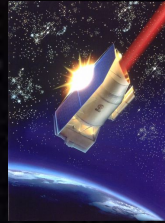
**IRAS** : 57 cm  
25 jan.1983



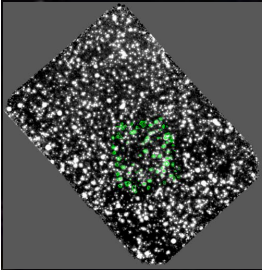
IRAS révèle l'existence de galaxies ultralumineuses IR  
Toutes sont produites par des fusions de galaxies



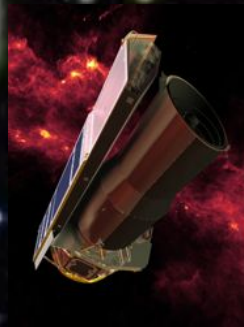
**ISO** : 60 cm  
17 nov.1995



La majorité des étoiles présentes sont nées au cours d'une phase (ultra) lumineuse dans l'IR

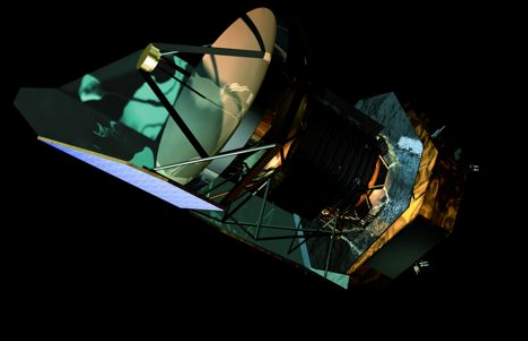


**Spitzer** : 85 cm  
25 august 2003



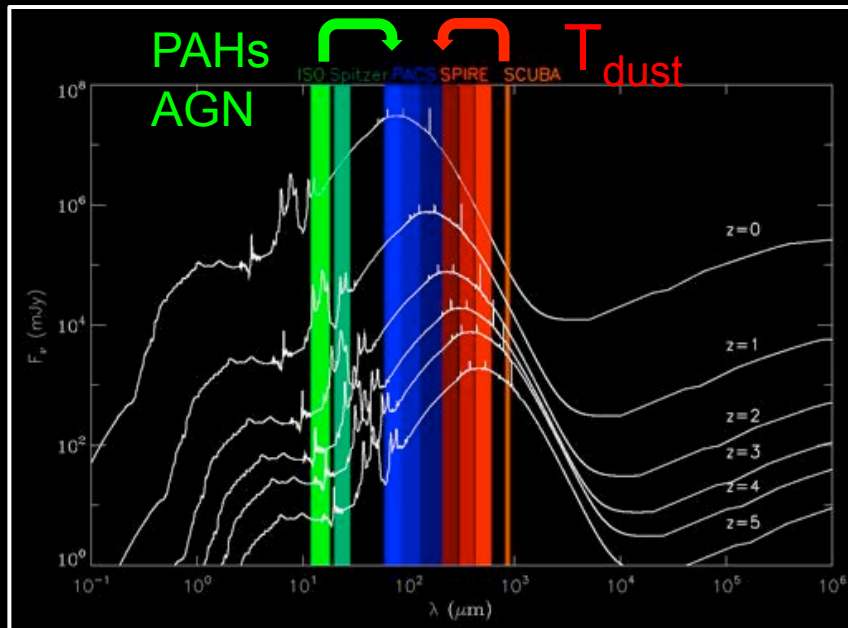
Cette phase est responsable du fond diffus IR cosmologique  
Une partie (mineure) vient de noyaux actifs

**Herschel**: 350 cm  
14 may 2009



At  $z=0 \rightarrow \sim 2$

# Herschel

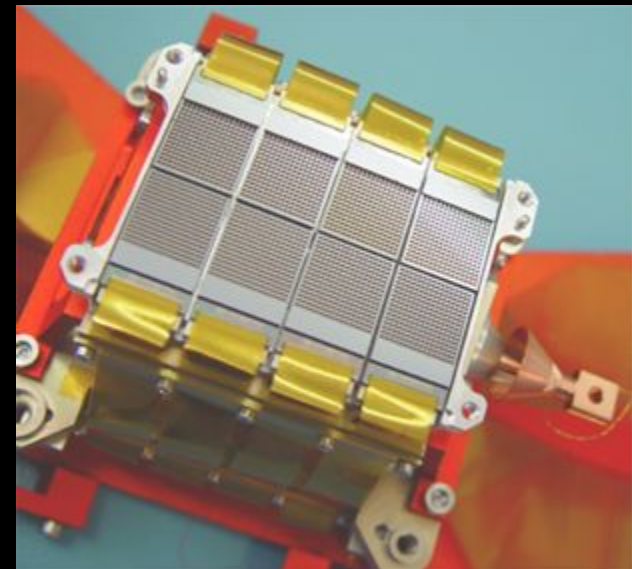


2 photomètres et spectro-imageurs :

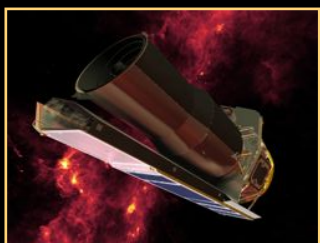
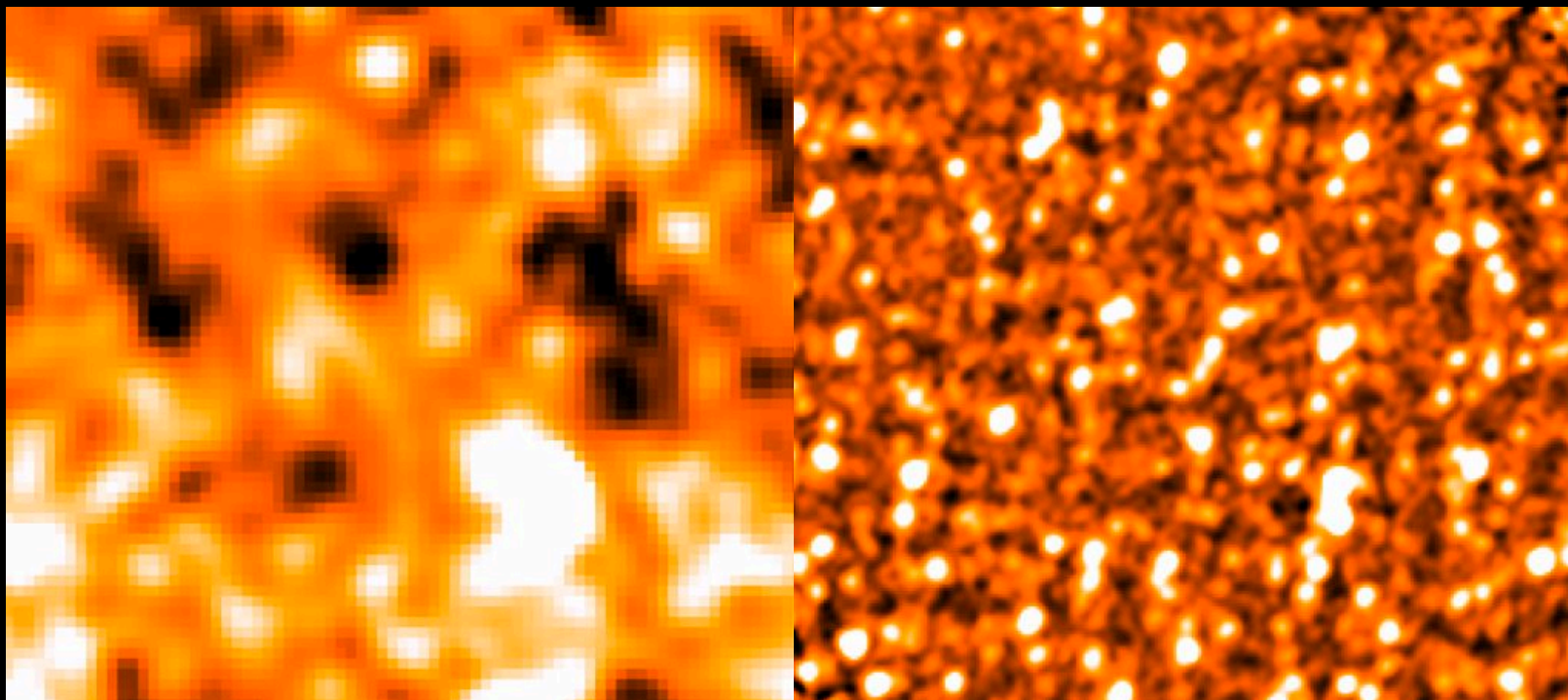
- **PACS** (60-210  $\mu\text{m}$ ): réalisation complète de la voie d'imagerie de PACS par CEA/Irfu/SAp (nouveaux bolomètres par le LETI)
  - **SPIRE** (200-650  $\mu\text{m}$ ): électronique et de cryoréfrigérateurs / CEA
- + spectromètre haute résolution :
- **HIFI** gammes submillimétriques.



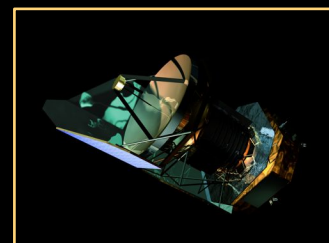
8 matrices de bolomètres  
PACS réalisés par le CEA (Irfu/  
Sedi - SAp et LETI)



# Repousser la limite de confusion...



**Spitzer** : 85 cm



**Herschel**: 3,50 m

*GOODS-Herschel* (Herschel Open Time Key Program)

The Great Observatories Origins Deep Survey : far IR imaging with Herschel

Deepest images of the sky in the far IR : ~2000 sources

Collaborators (60): Fr, US, G, UK, Gr, It, Can, ESO, ESA

-- PI D.Elbaz

362.6 hours (100 $\mu$ m & 160 $\mu$ m PACS + 31h SPIRE) +193.6 h just accepted !



15' = 15 comov.Mpc@z=1

GOODS-North

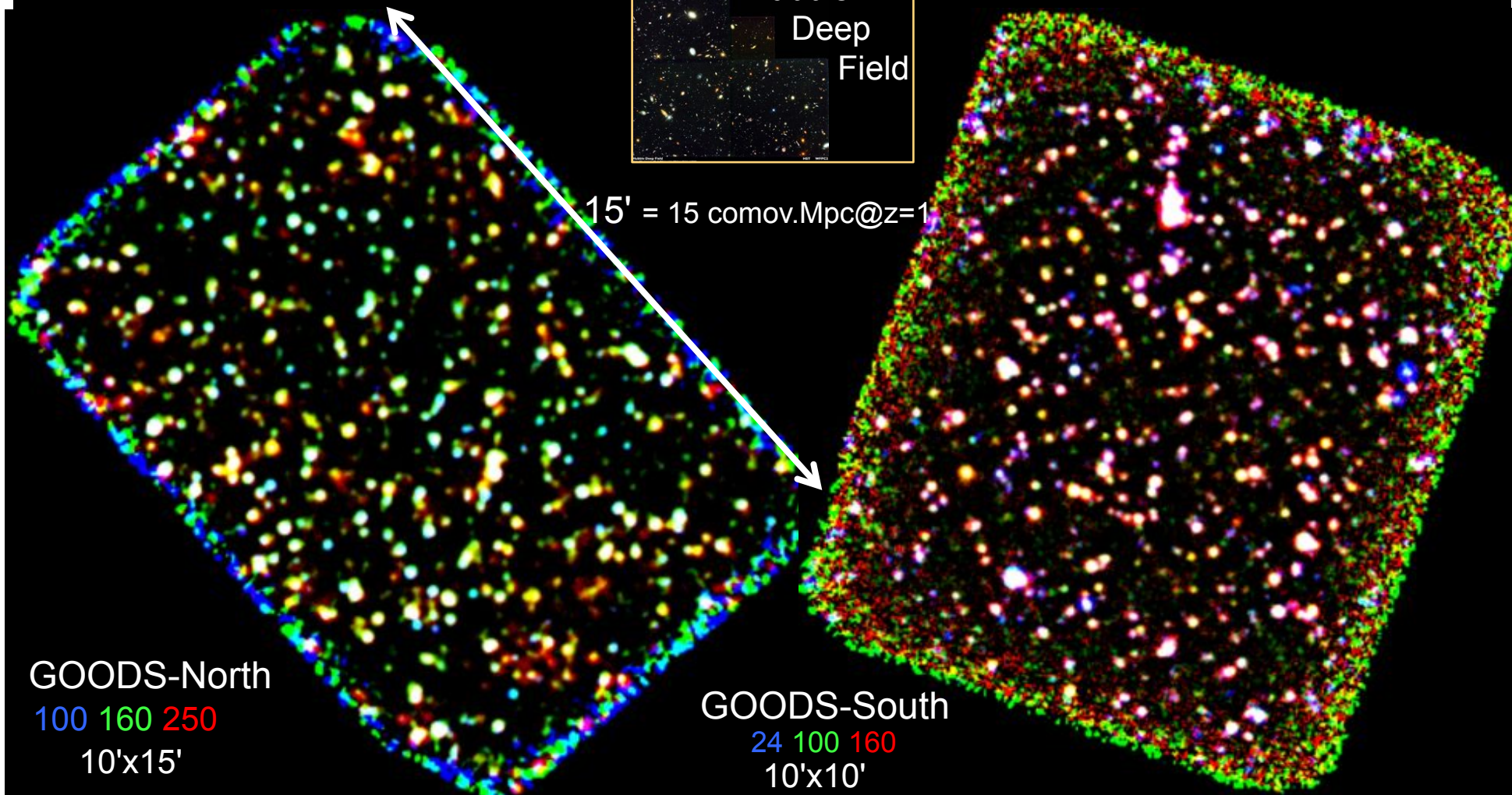
100 160 250

10'x15'

GOODS-South

24 100 160

10'x10'



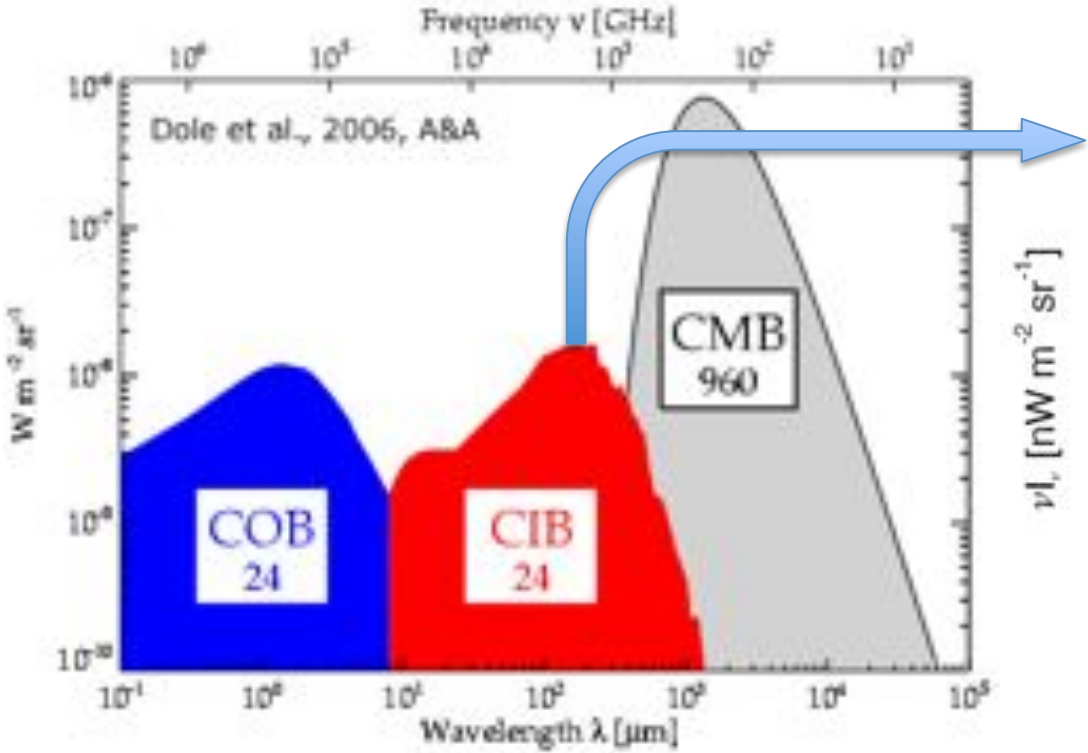
$z=4$

âge univers =

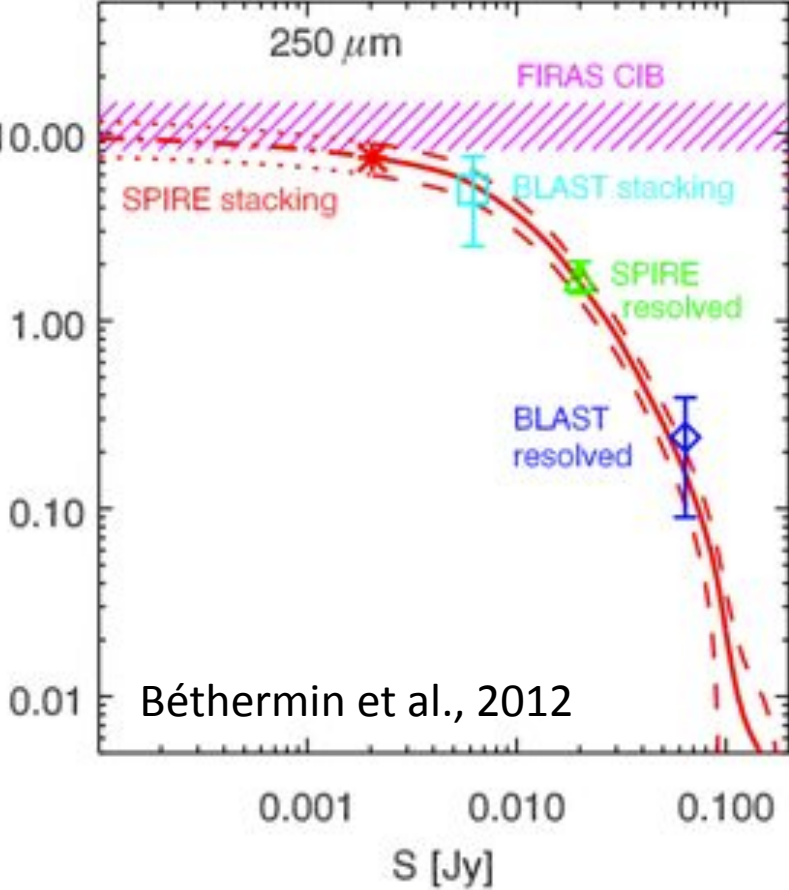
1.5 milliards d'an.



# Identification des sources responsables du fond infrarouge



Spectre du fond extragalactique



Contribution des galaxies infrarouges au fond à 250 microns

# Remonter le cours du temps... et mesurer le taux de formation d' $\star$

*Univers local*

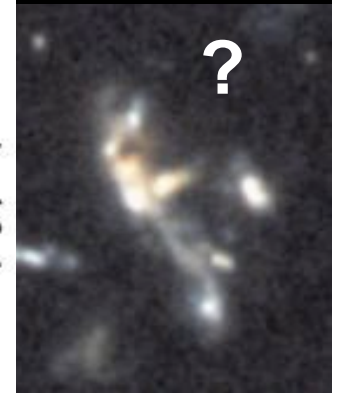
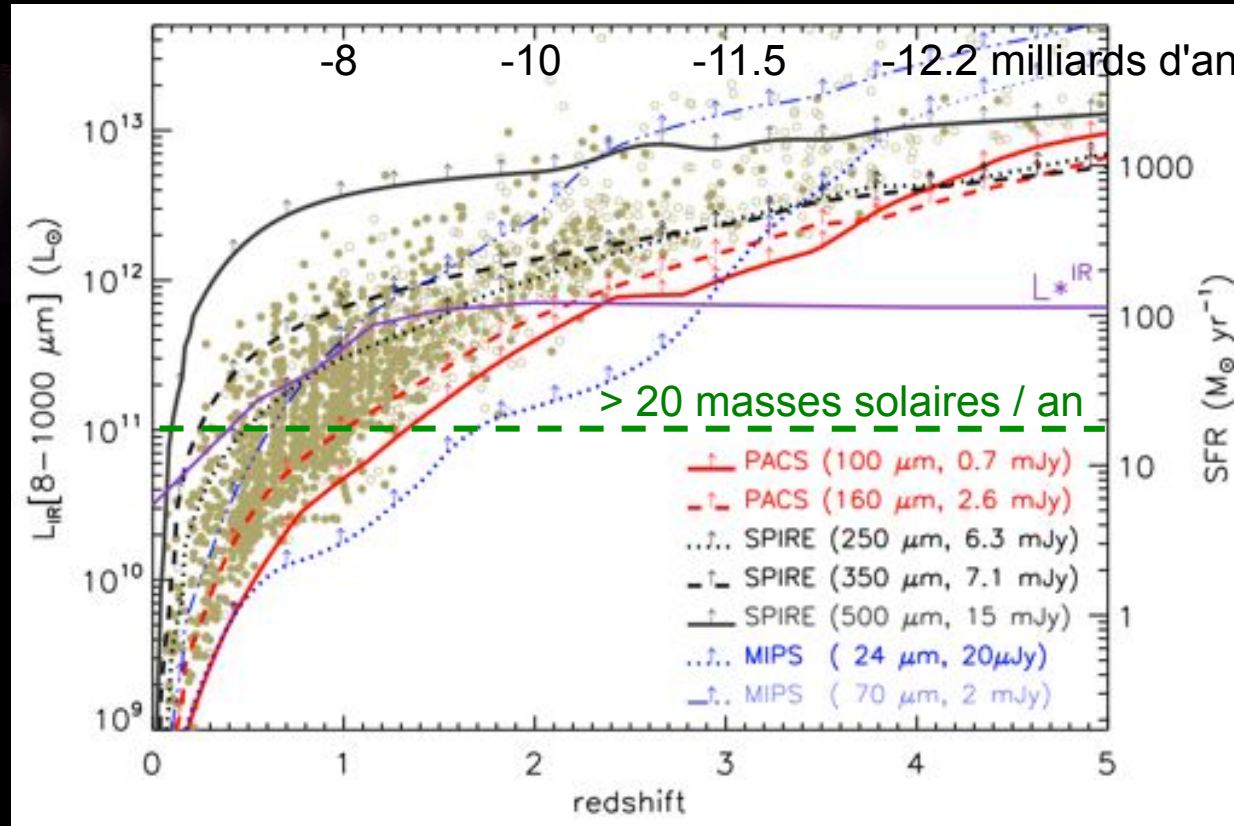
(U)LIRGs <2%

>50% de la formation stellaire

*Univers lointain*

ULIRGs

LIRGs

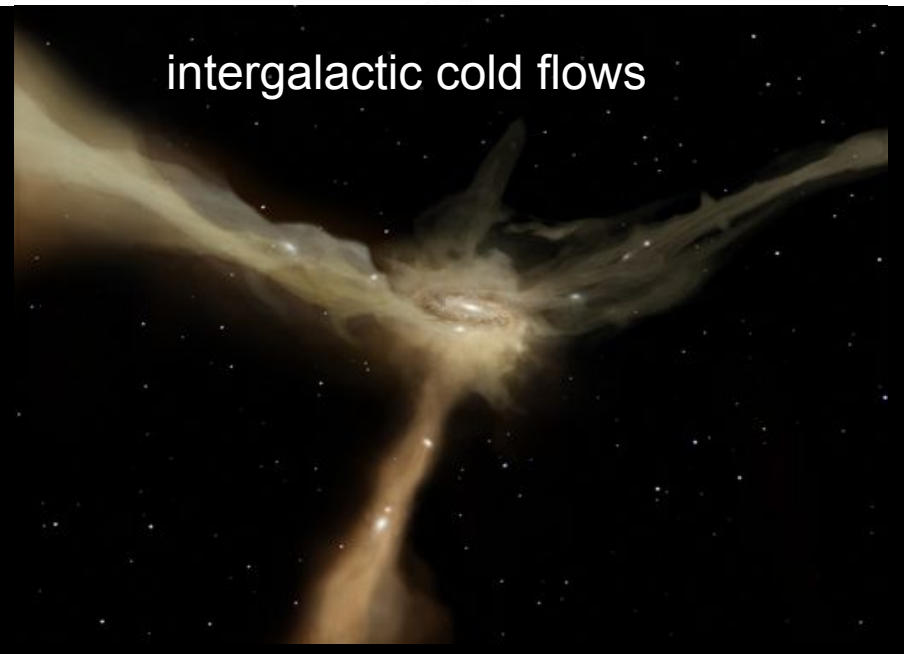
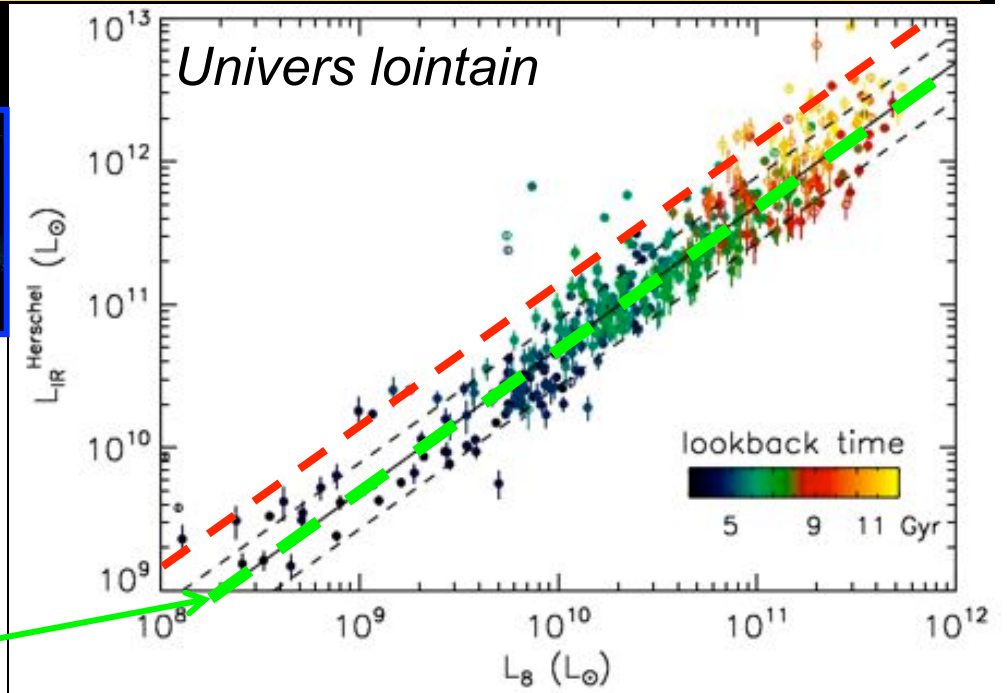
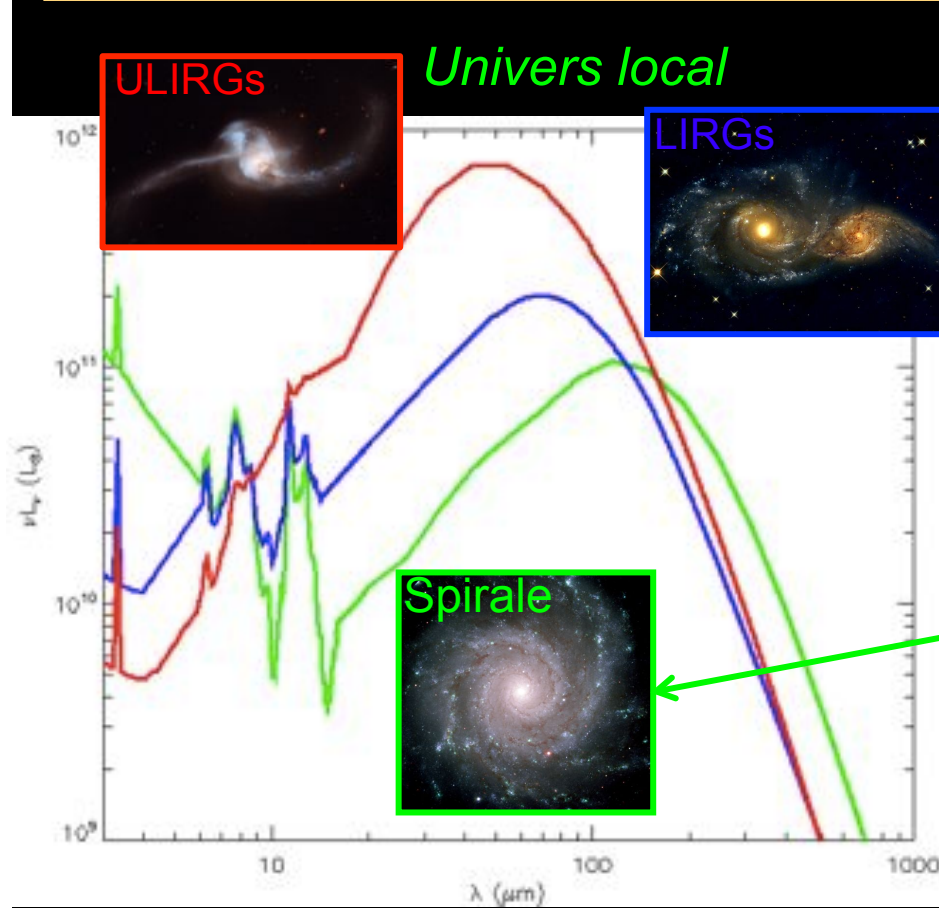


~2000 galaxies lointaines avec distances et taux de formation stellaires

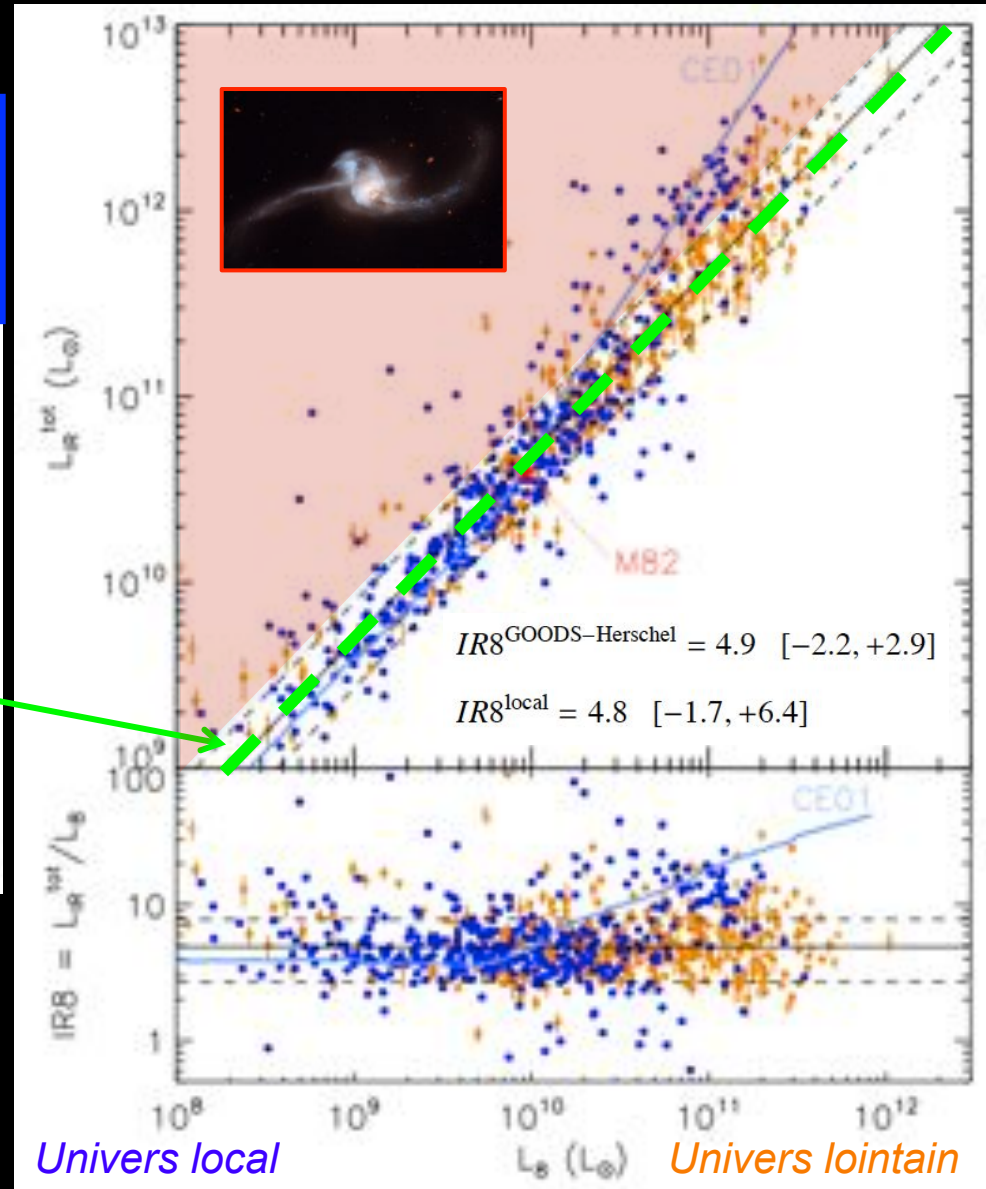
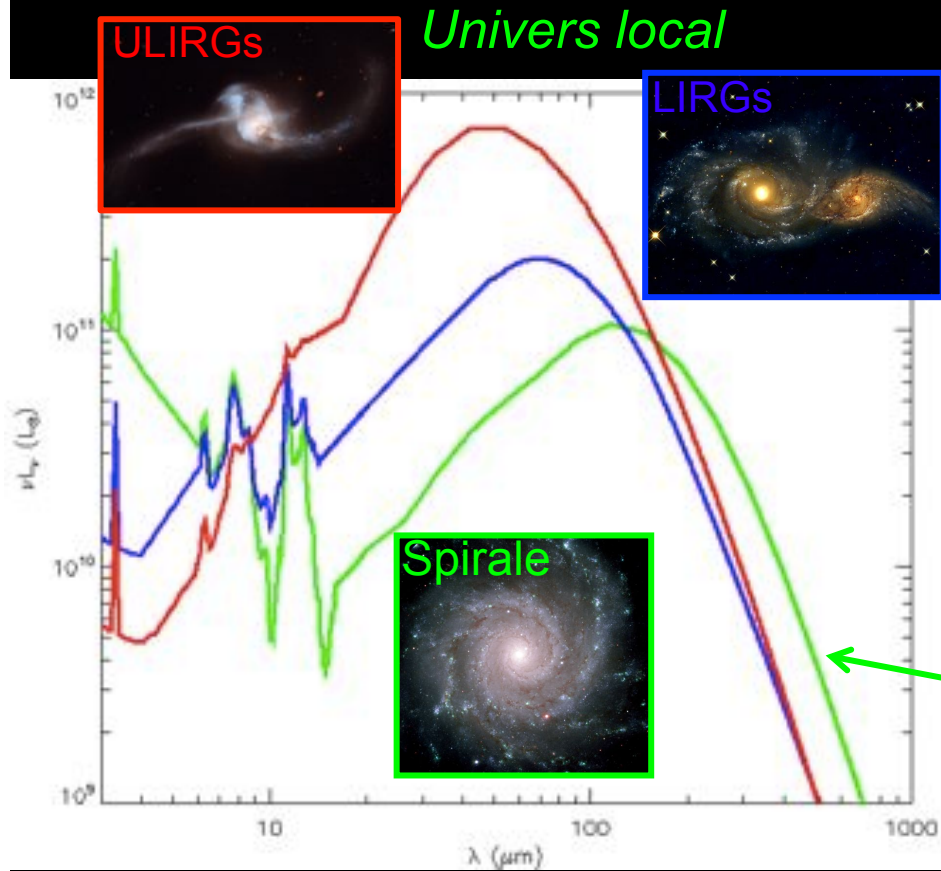
70% complete spec z , ~30% phot z



# Effet de la distribution spatiale des étoiles: fusions de galaxies



# Effet de la distribution spatiale des étoiles: fusions de galaxies

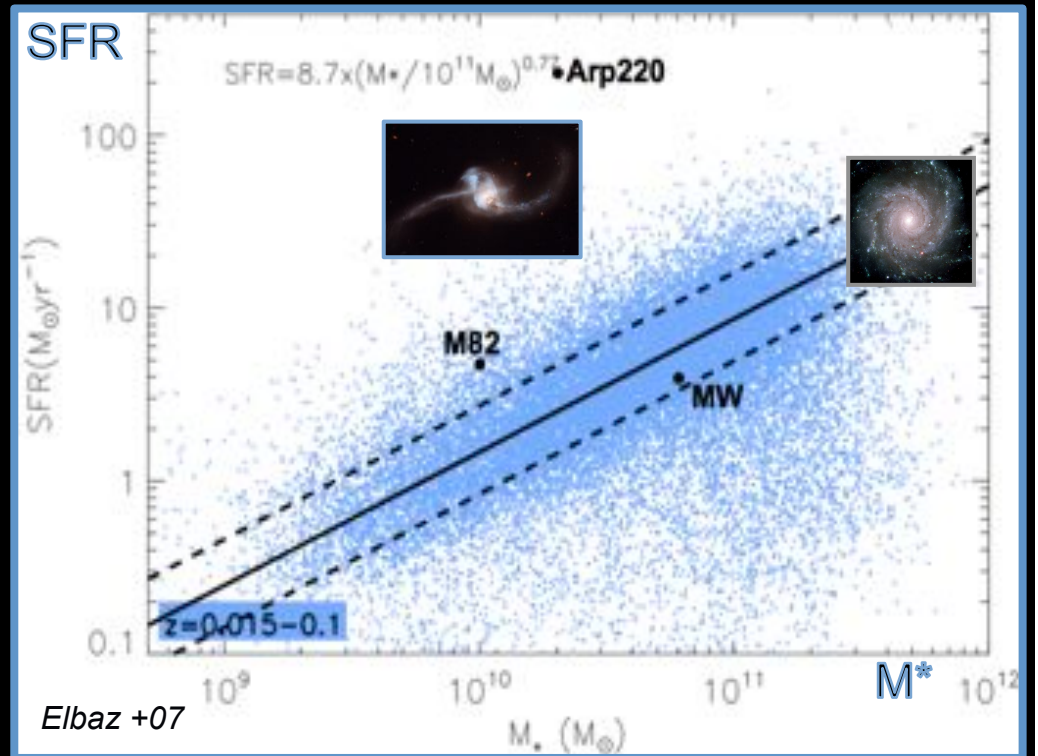
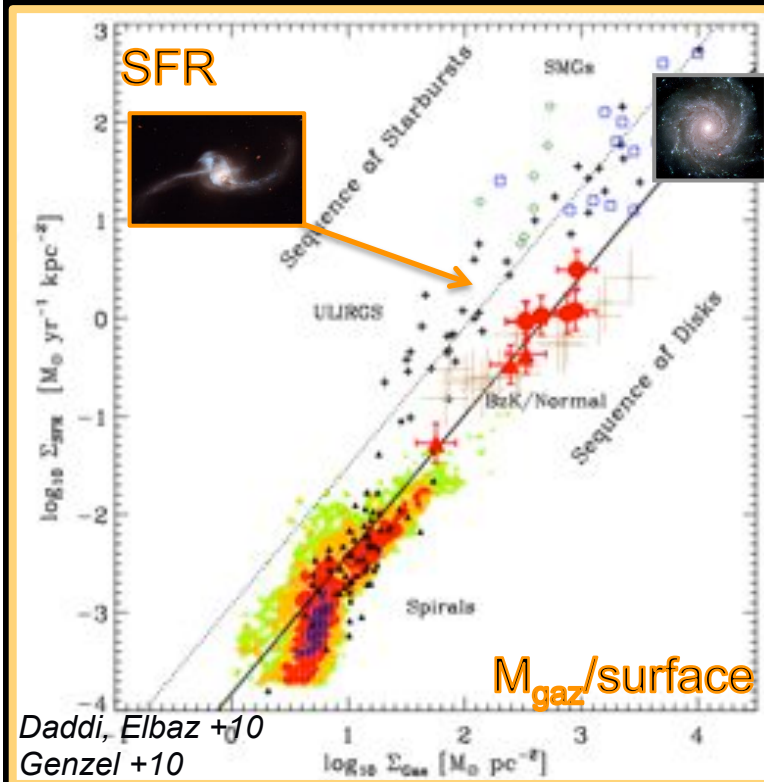
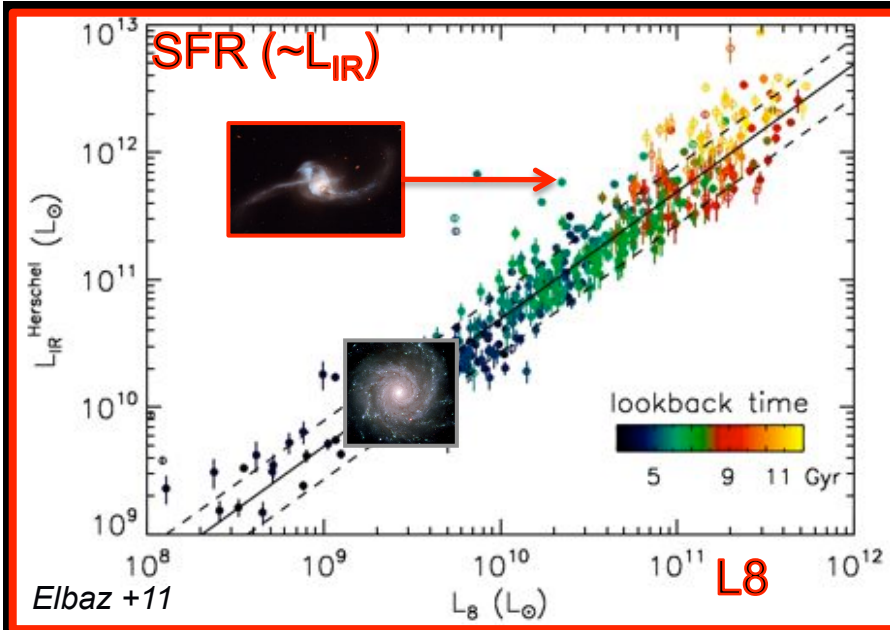


# La séquence principale des galaxies:

SFR  $\sim$  L8 (concentration des régions de formation d'étoiles, IR8)

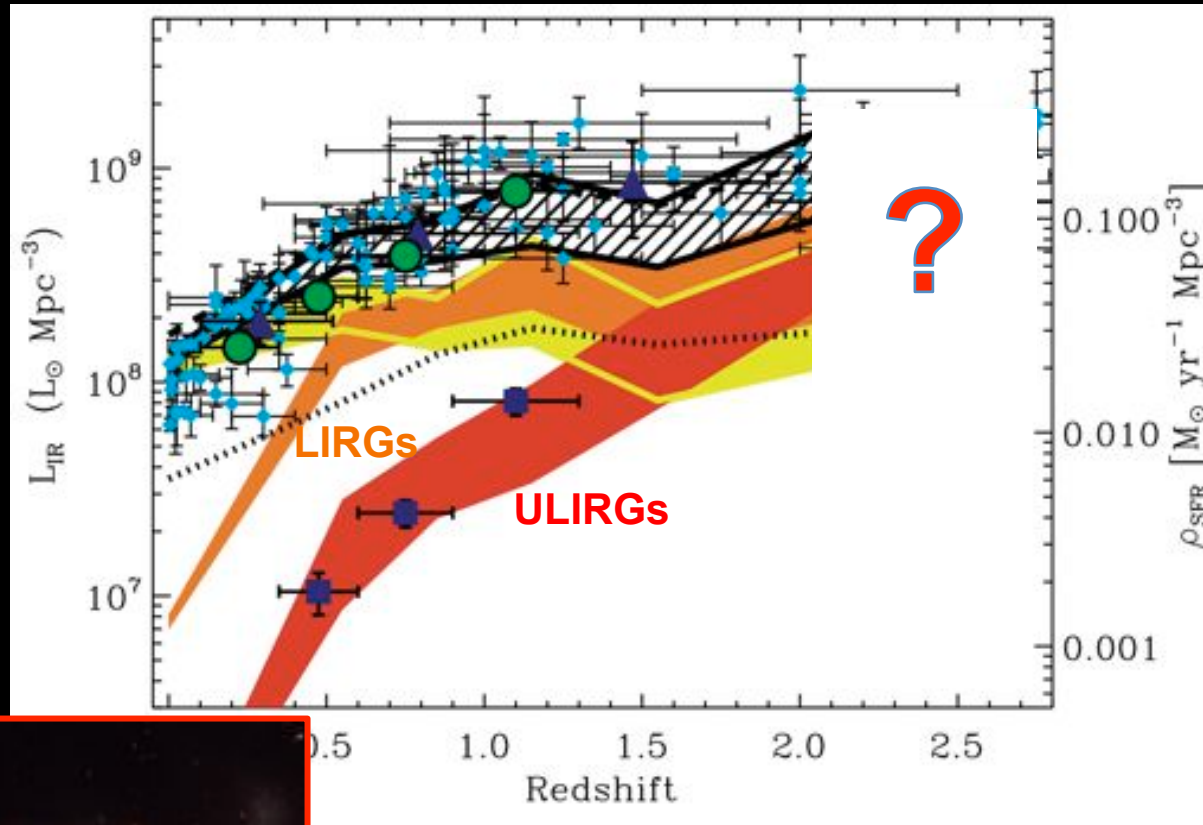
SFR  $\sim$  M<sub>gaz</sub>/surface (réservoir de gaz)

SFR  $\sim$  M\* (rôle de la gravité)



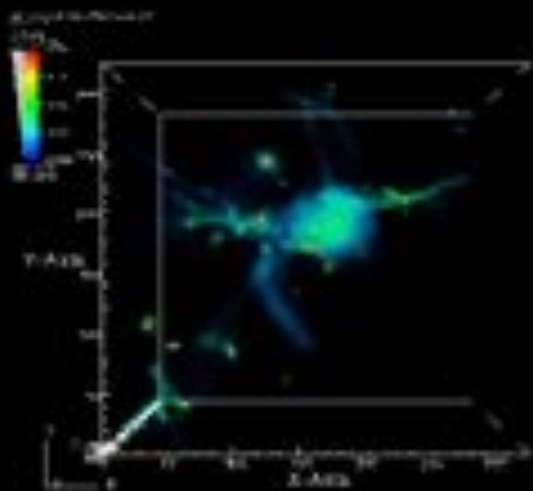
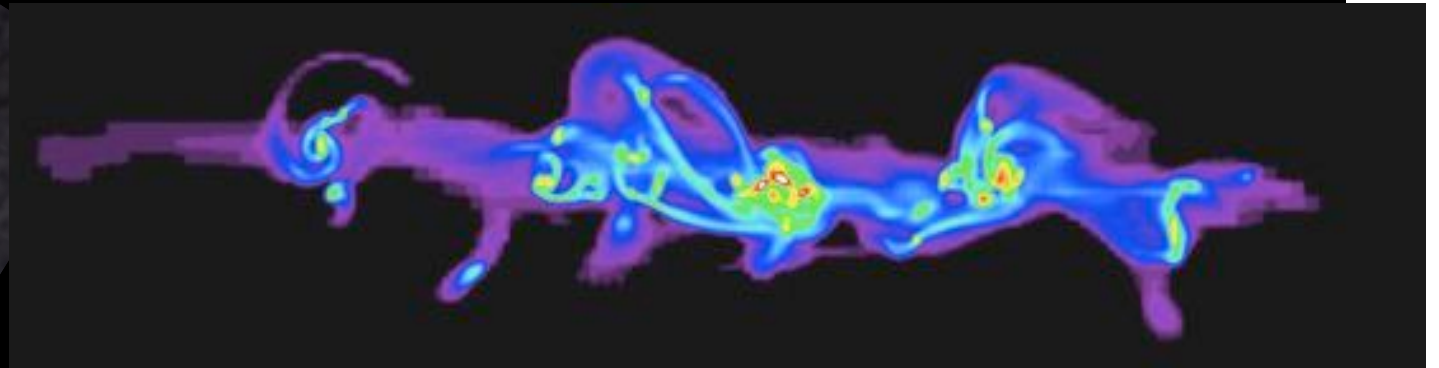
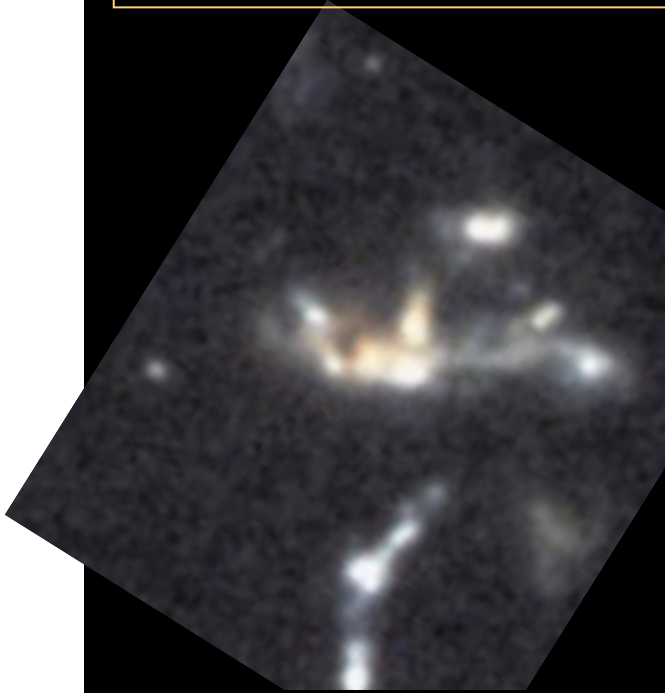
# The GOODS-Herschel perspective on the cosmic SFR history

IR luminosity density ( $L_{\odot} \text{Mpc}^{-3}$ )  $\rightarrow$  SFR density ( $M_{\odot} \text{yr}^{-1} \text{Mpc}^{-3}$ )



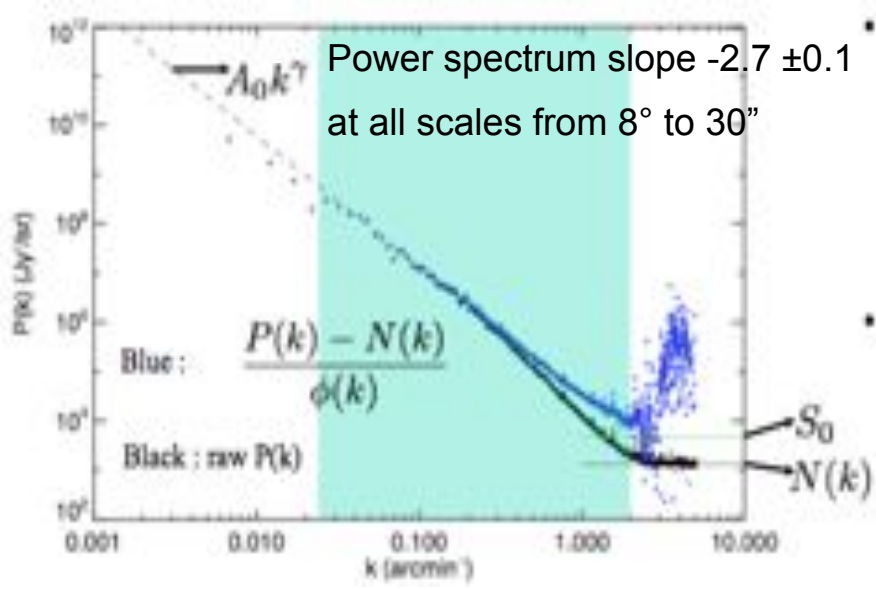
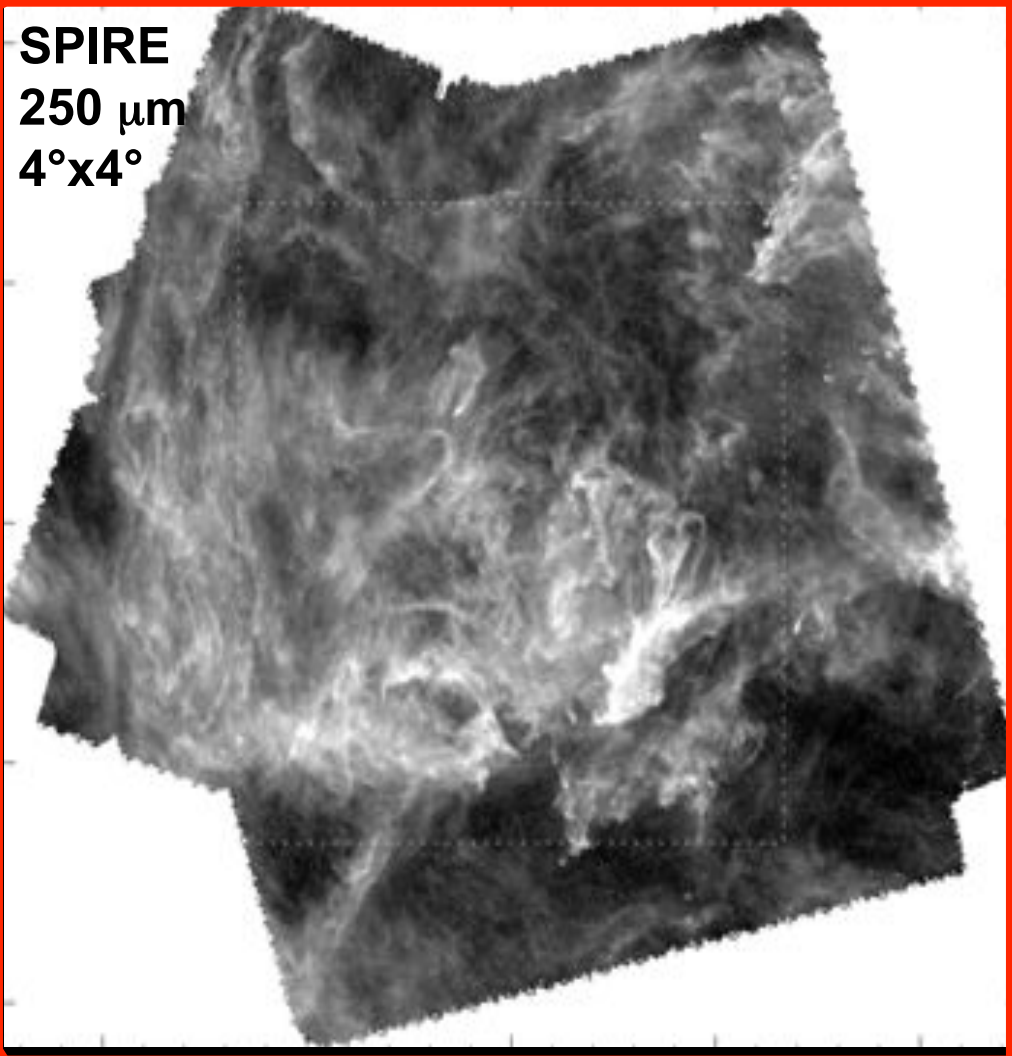
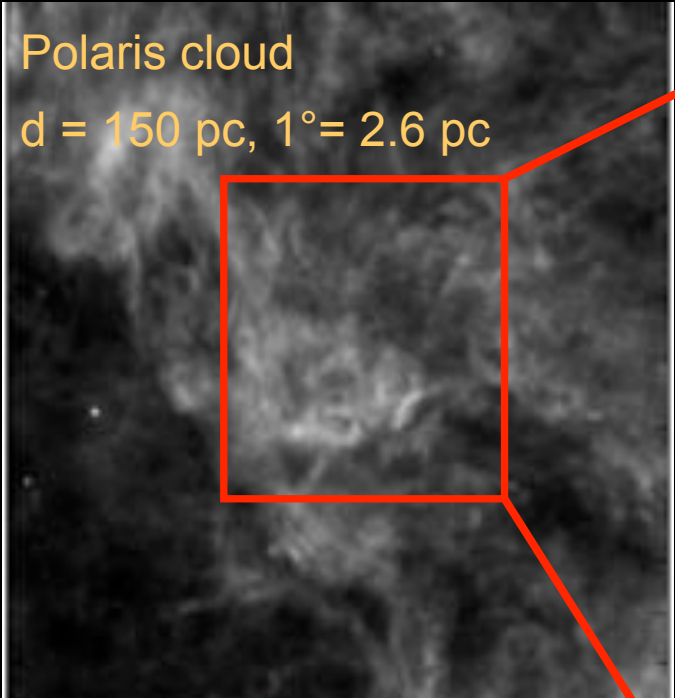
Magnelli +12 (in prep.)

# Instabilités dynamiques induites par les courants de refroidissement intergalactiques: un nouveau paradigme pour la croissance des galaxies



Comment les instabilités à grande échelle sont-elles transmises à l'échelle des régions de formation d'étoiles ?...

Structure du milieu interstellaire telle qu'on ne l'avait jamais vue :  
 cascade d'énergie turbulente des grandes (100 a.l.) aux petites (1 a.l.) échelles



*Miville-Deschênes, Martin, Abergel et al. 2010*

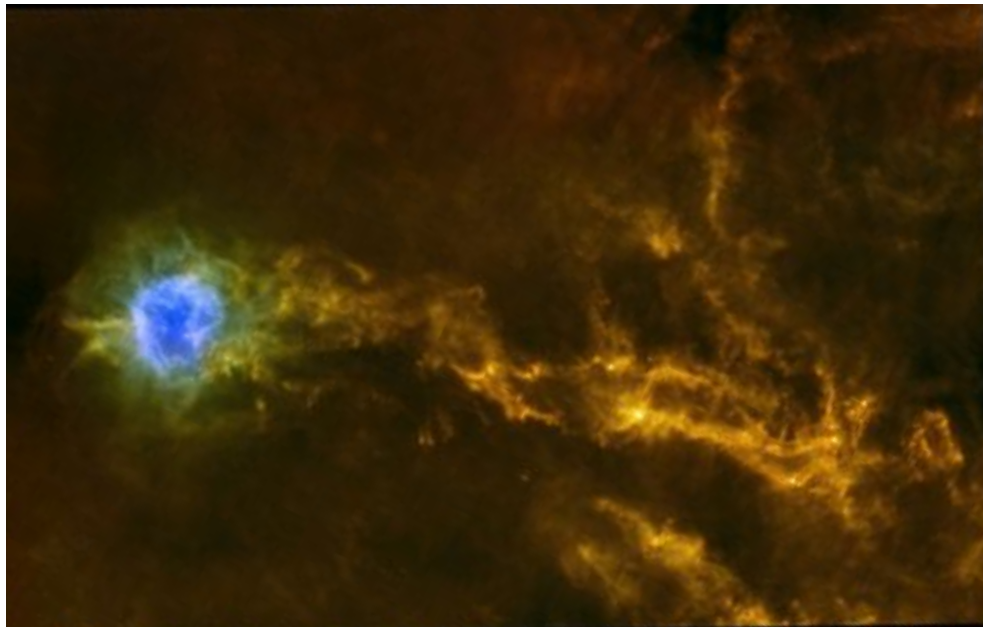
# *Herschel* révèle une structure filamentaire “universelle” dans le milieu interstellaire froid

Largeur des filaments  $\sim 0.1$  pc

IC5146 :

Pouponnière d'étoiles

PACS 70  $\mu\text{m}$  + SPIRE 250/500  $\mu\text{m}$

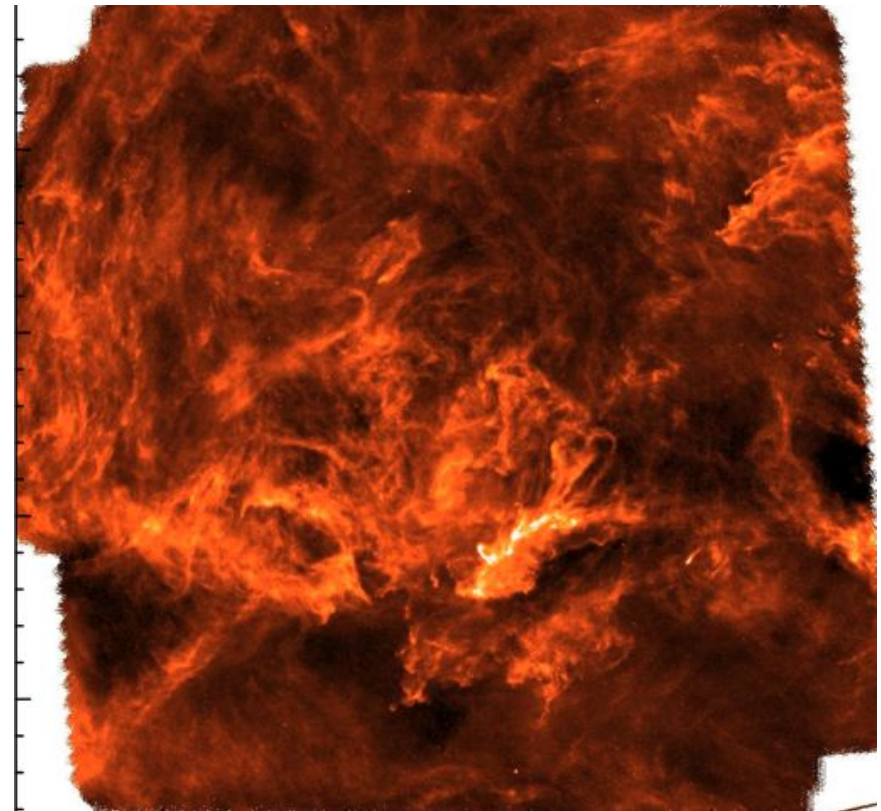


IC5146 - *Herschel* Gould Belt survey

Arzoumanian, André, Didelon et al. 2011

Polaris :  
“Cirrus” sans formation d'étoiles

SPIRE 250  $\mu\text{m}$

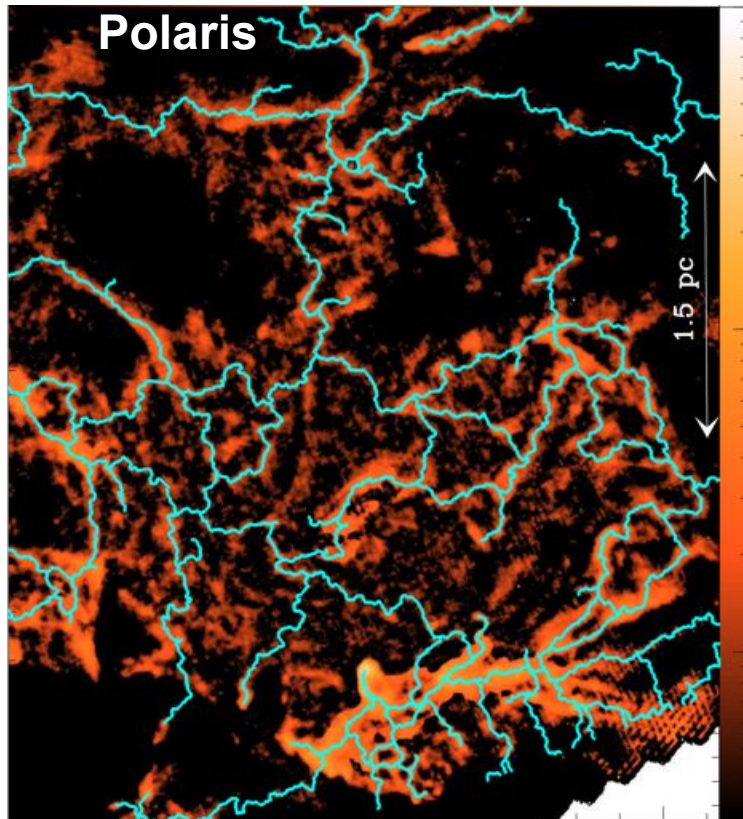


Polaris Flare - Gould Belt survey

Men'shchikov, André, Didelon et al. 2010

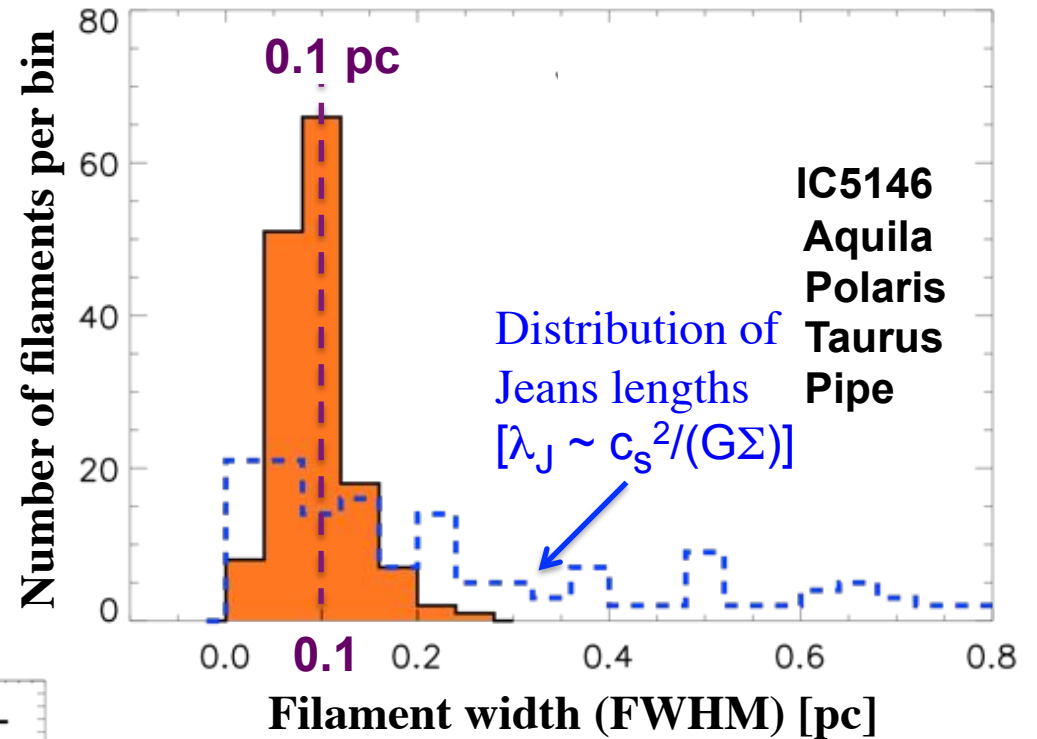


# Filaments have a characteristic width $\sim 0.1$ pc

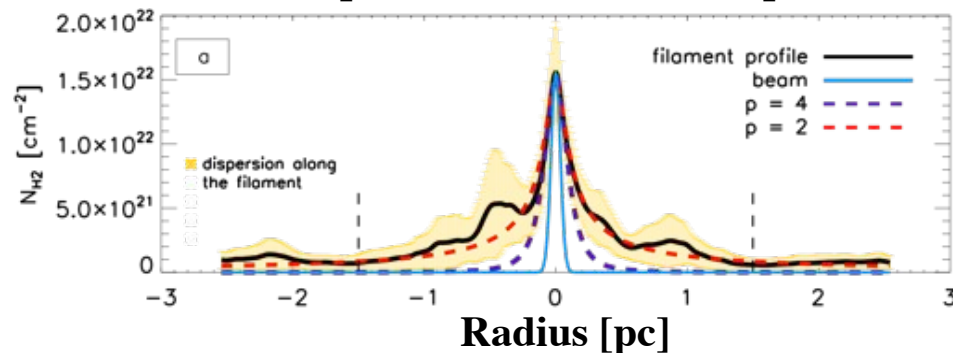


D. Arzoumanian et al. 2011, A&A, 529, L6

## Statistical distribution of widths for 150 filaments



Example of a filament radial profile



Using the ‘skeleton’ or DisPerSE algorithm (Sousbie 2011) to trace the ridge of each filament

# Les “coeurs pré-stellaires” se forment

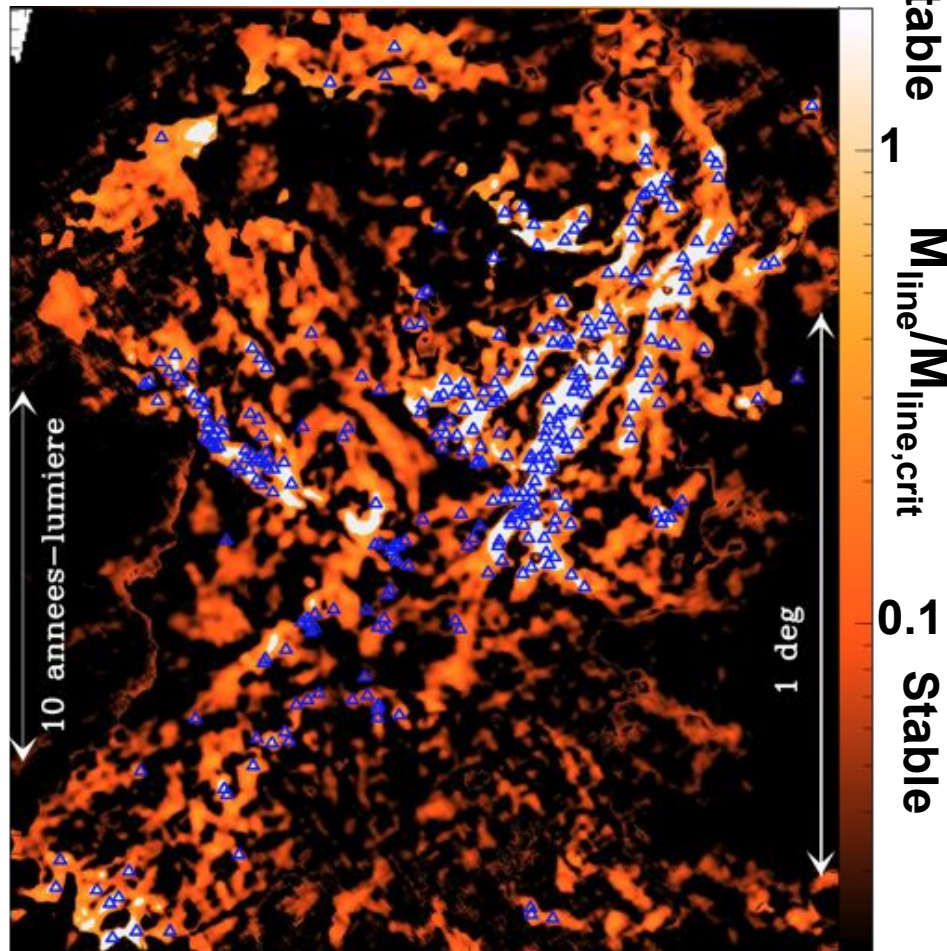
**le long des filaments les plus denses**  
Coeurs pré-stellaires dans le complexe d'Aquila ( $\triangle$ )  
Au-dessus du seuil de l'instabilité gravitationnelle

$$M/L > M_{\text{line, crit}} = 2 c_s^2/G \sim 15 M_{\odot}/\text{pc}$$

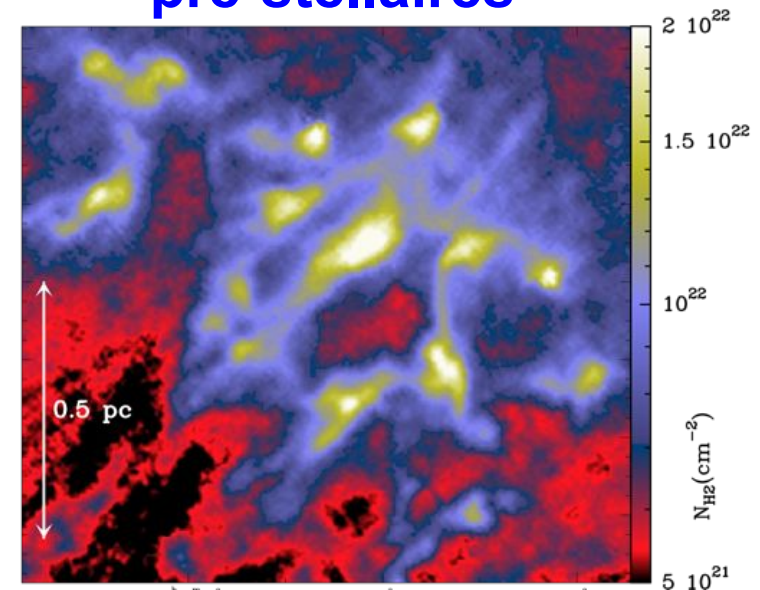
pour  $T \sim 10 \text{ K}$

$$\text{ou } \Sigma > \Sigma_{\text{crit}} \sim 150 M_{\odot}/\text{pc}^2$$

**Exemples de coeurs pré-stellaires**



André, Mensehchikov, Bontemps et al. 2010

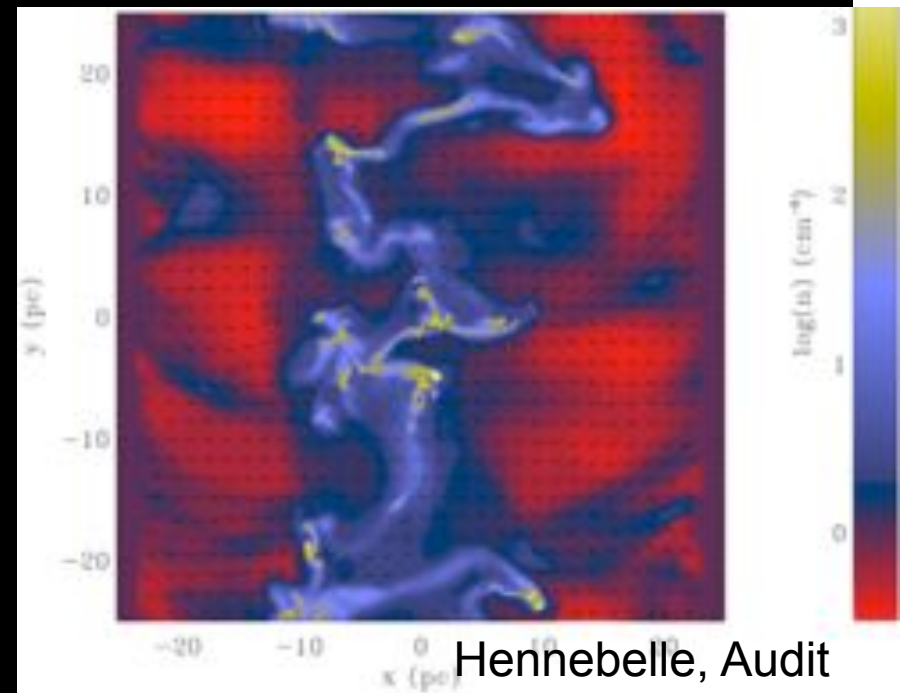
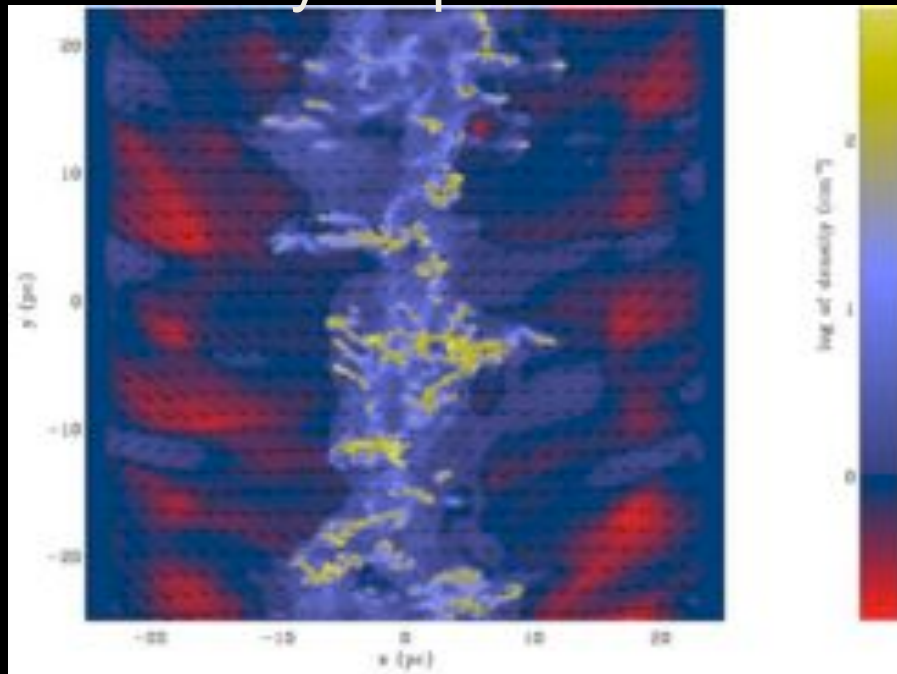


Könyves et al. 2010



Hydro pure

MHD



Hennebelle, Audit

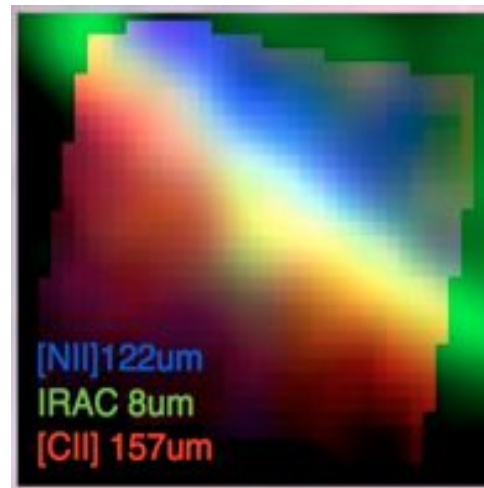
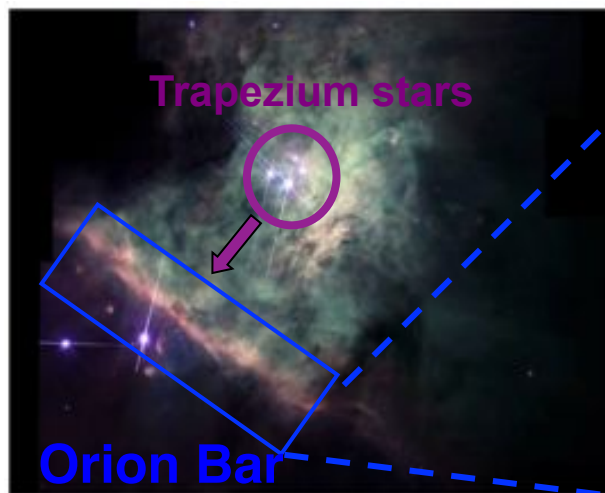
Comment les instabilités à grande échelle sont-elles transmises à l'échelle des régions de formation d'étoiles ?...

→ turbulence jusqu'à 0.1 pc, aux tailles inférieures la turbulence n'agit plus (subsonique) et la gravité peut agir (Jeans)

Comment le rayonnement des étoiles jeunes influence –t-il en retour son environnement ?

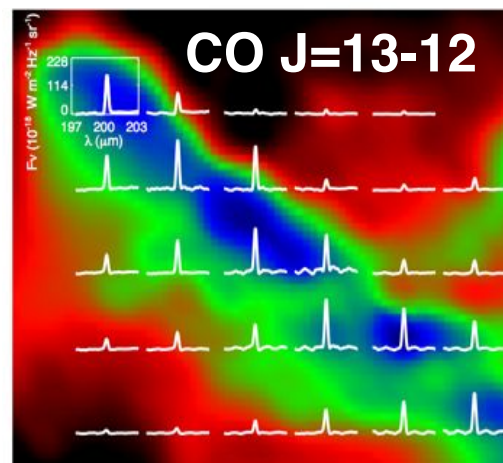
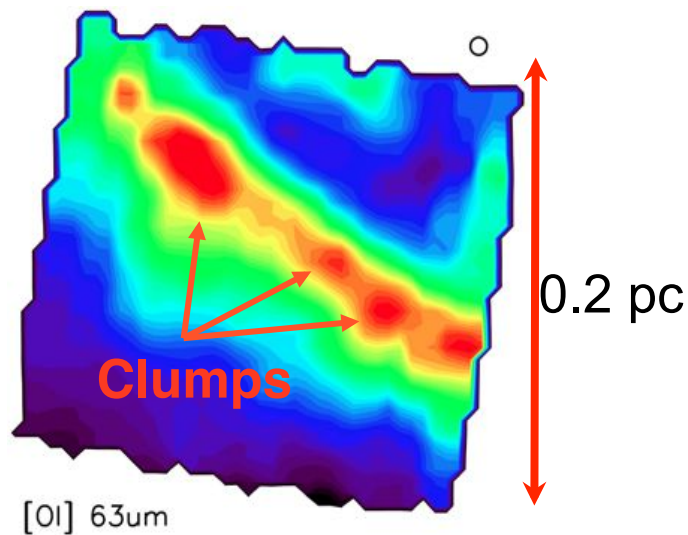
→ feedback radiatif, érosion

# Radiative feedback from stars on clouds



## Layered distribution

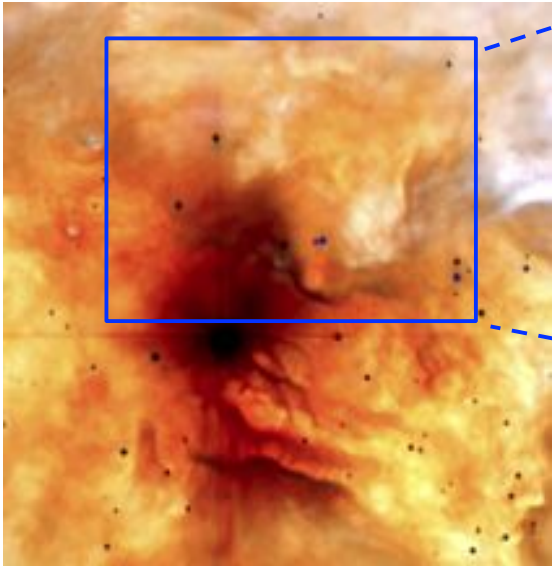
- ✓ Ionised gas
- ✓ Small dust
- ✓ Cooling lines



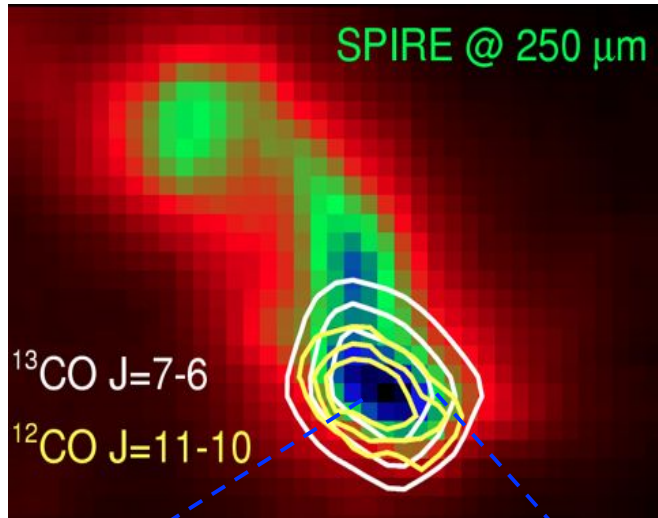
## Physical structure & conditions

- ✓ Highly structured medium
- ✓ Excess of excited molecular gas linked to the dense structures

# The IRIS nebula

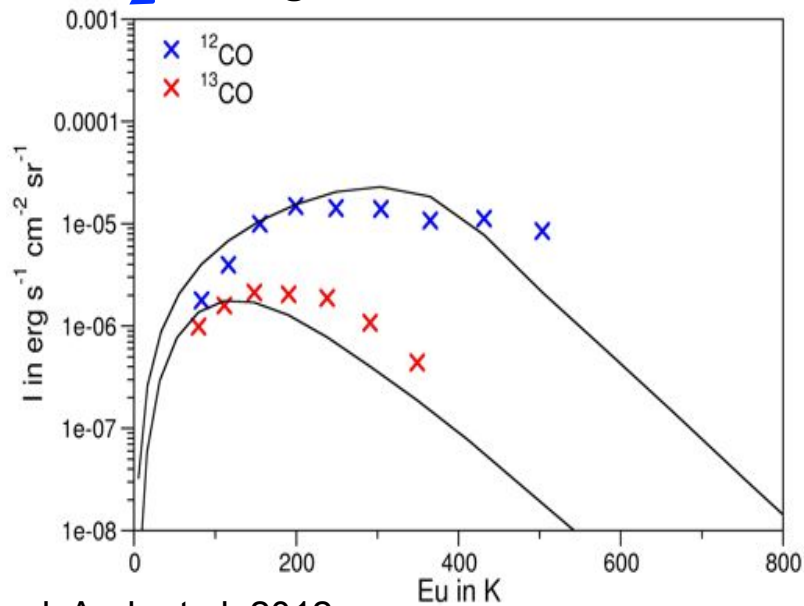


## Dust map with gas line contours



0.2 pc

## Integrated line intensities



✓ Dust and gas are spatially coupled

✓ Dust and gas are thermally coupled in the dense region

Gas temperature: 57 K

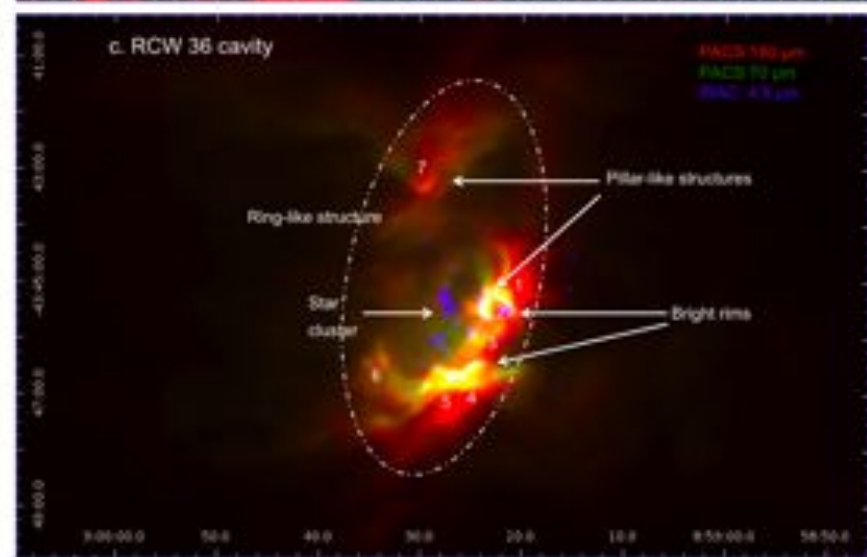
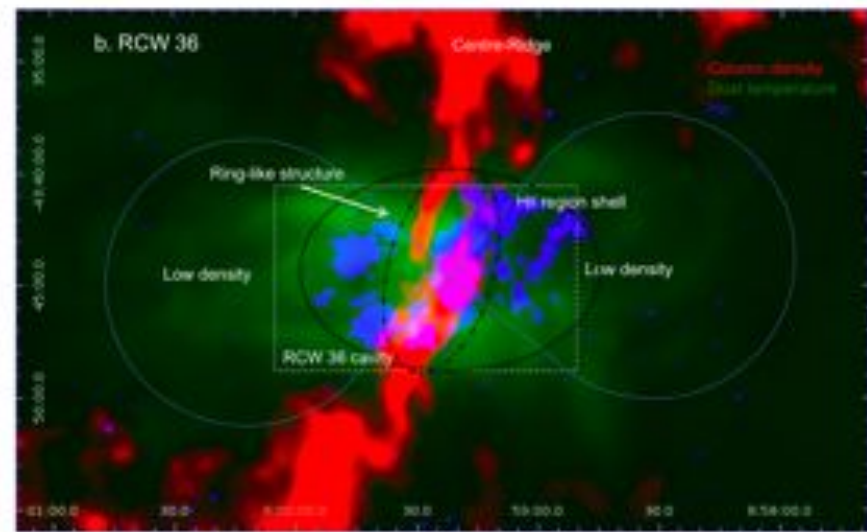
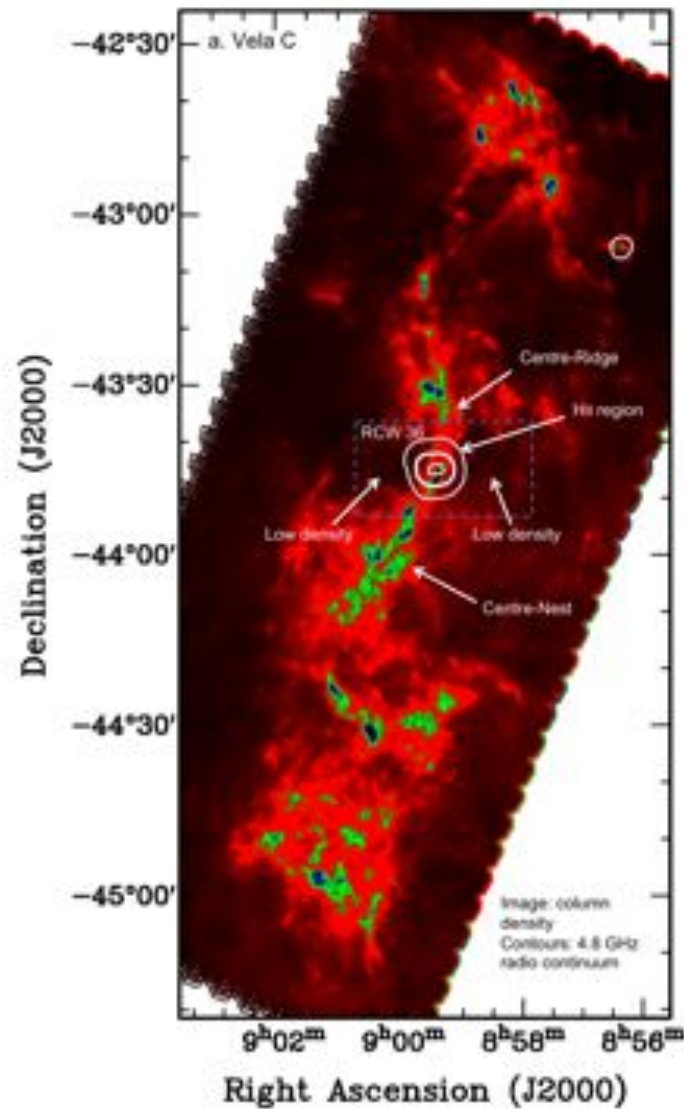
Dust temperature: 50 K

Gas density:  $10^5 \text{ cm}^{-3}$

Column density:  $2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$

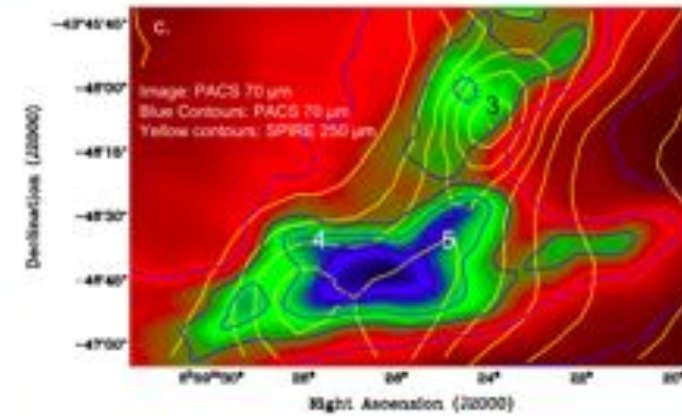
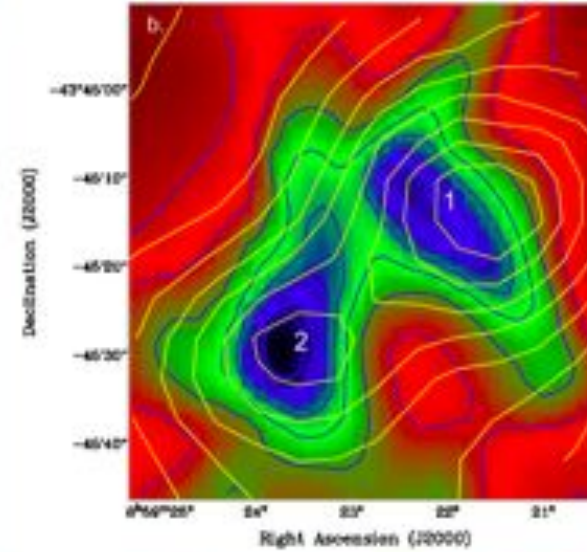
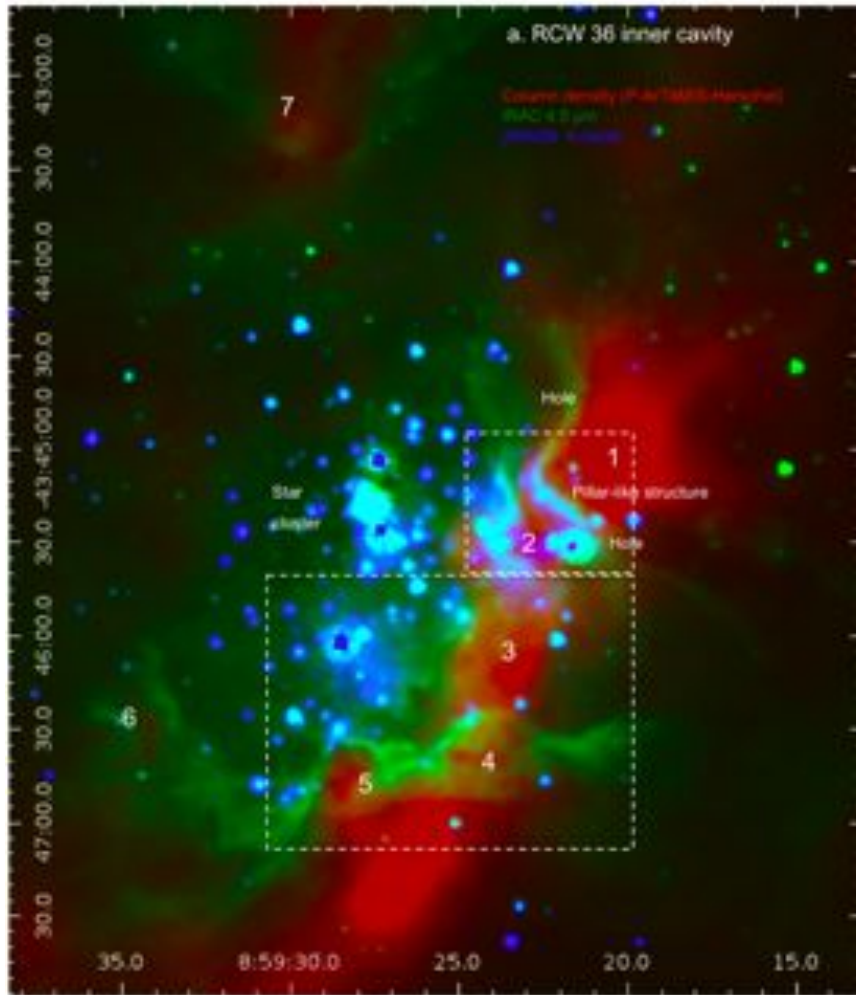
Koehler, Bernard-Salas, Habart, Abergel, Arab et al. 2012

# Nuage moléculaire dans Vela C: structure filamentaire et formation d'une cavité bipolaire due à l'irradiation UV d'étoiles massives



Minier et al. in prep.; Hill et al. 2011

Cavité bipolaire RCW36 dans Vela C: formation de « clumps » qui donneront naissance à de nouvelles étoiles (seconde génération)



Minier et al. in prep.



## Voyage au coeur de Vela C

Réalisation

NOVAE  
FACTORY

Paco Abelleira & Laurent Fouilloux

Sur la base des résultats scientifiques  
de **Hill** et al. (2011) et **Minier** et al. (2012)

dans le cadre du programme clé **HOBYS**  
(**Motte, Zavagno, Bontemps** et al.)

avec l'observatoire spatial **Herschel** de l'**ESA**

Responsable éditorial et conseiller scientifique

**Vincent Minier** - astrophysicien au **CEA**

# Le Grand Nuage de Magellan Vu par Herschel



modèle standard => plus de poussière qu'il n'y a d'éléments lourds !

=> grains plus émissifs (carbone amorphe) que ceux de la VL

(graphites, silicates)

Galliano *et al.* 2011

Image Herschel :  
Pasquale Panuzzo (SAp)



## Perspectives nouvelles ouvertes avec *Herschel*

Herschel ouvre la voie vers un lien entre le Mpc (cold flows) et le 0.1 pc (filaments) sur 10 ordres de grandeur !

Quelle est l'origine de l'universalité des filaments où naissent les étoiles ?

Origine de la turbulence ?

(gravitationnelle, chocs, supernovae, vents stellaires, pression radiative, champ magnétique)

Rôle du champ magnétique dans les filaments où naissent les étoiles ?

Quelle est l'origine de la séquence principale des galaxies ?

Quelle est la cause des flambées de formation d'étoiles ?

fusions de galaxies, instabilités dynamiques provoquées par les « cold flows », noyaux actifs (trous noirs supermassifs) ?

Quel est le lien entre la formation d'étoiles et des trous noirs supermassifs ?