



1990-2010  
vingt ans de progrès  
d'observation de la lumière  
en astrophysique

Hervé Dole

---

Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay  
Université Paris Sud 11 & CNRS  
<http://www.ias.u-psud.fr/dole>



# la lumière

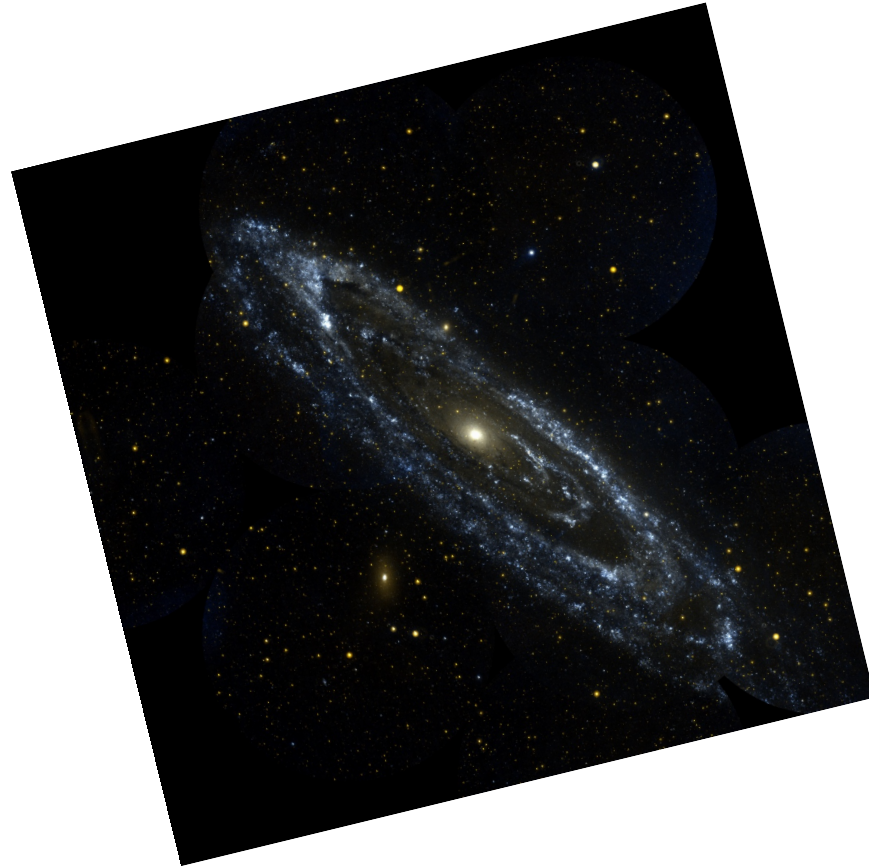
---



visible

# la lumière

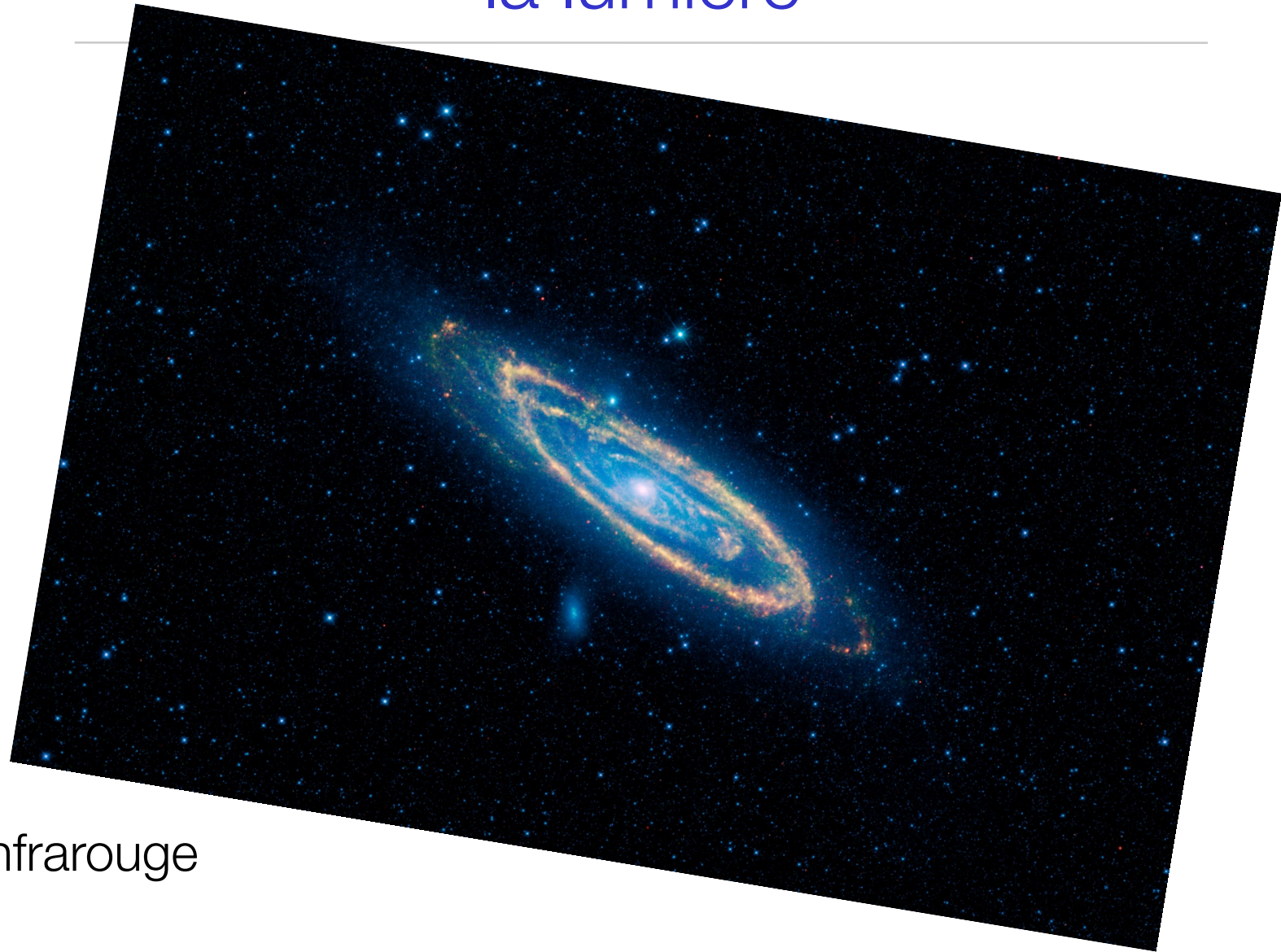
---



ultraviolet

# la lumière

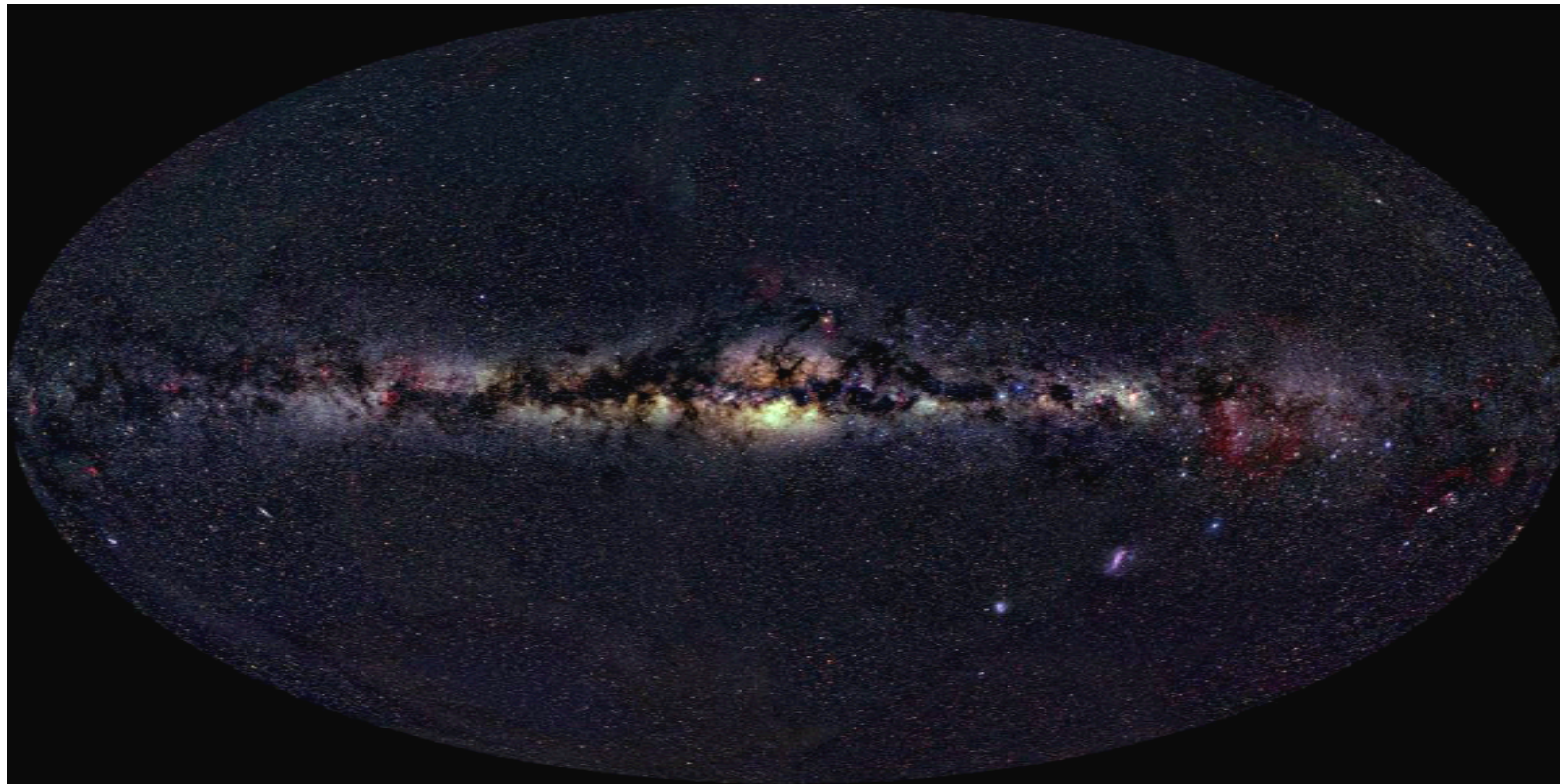
---



infrarouge

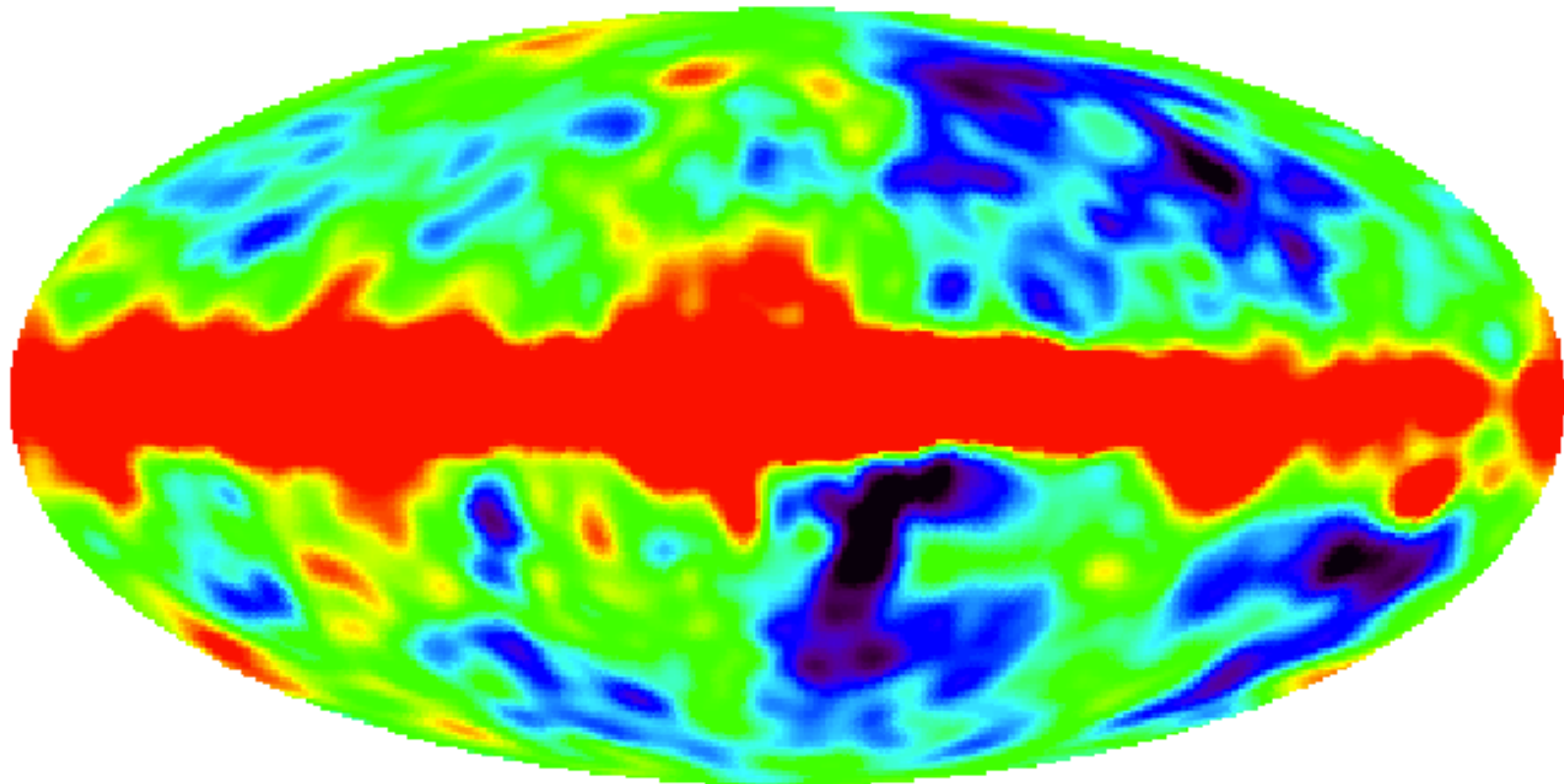
# illustration des progrès: 2 exemples

---



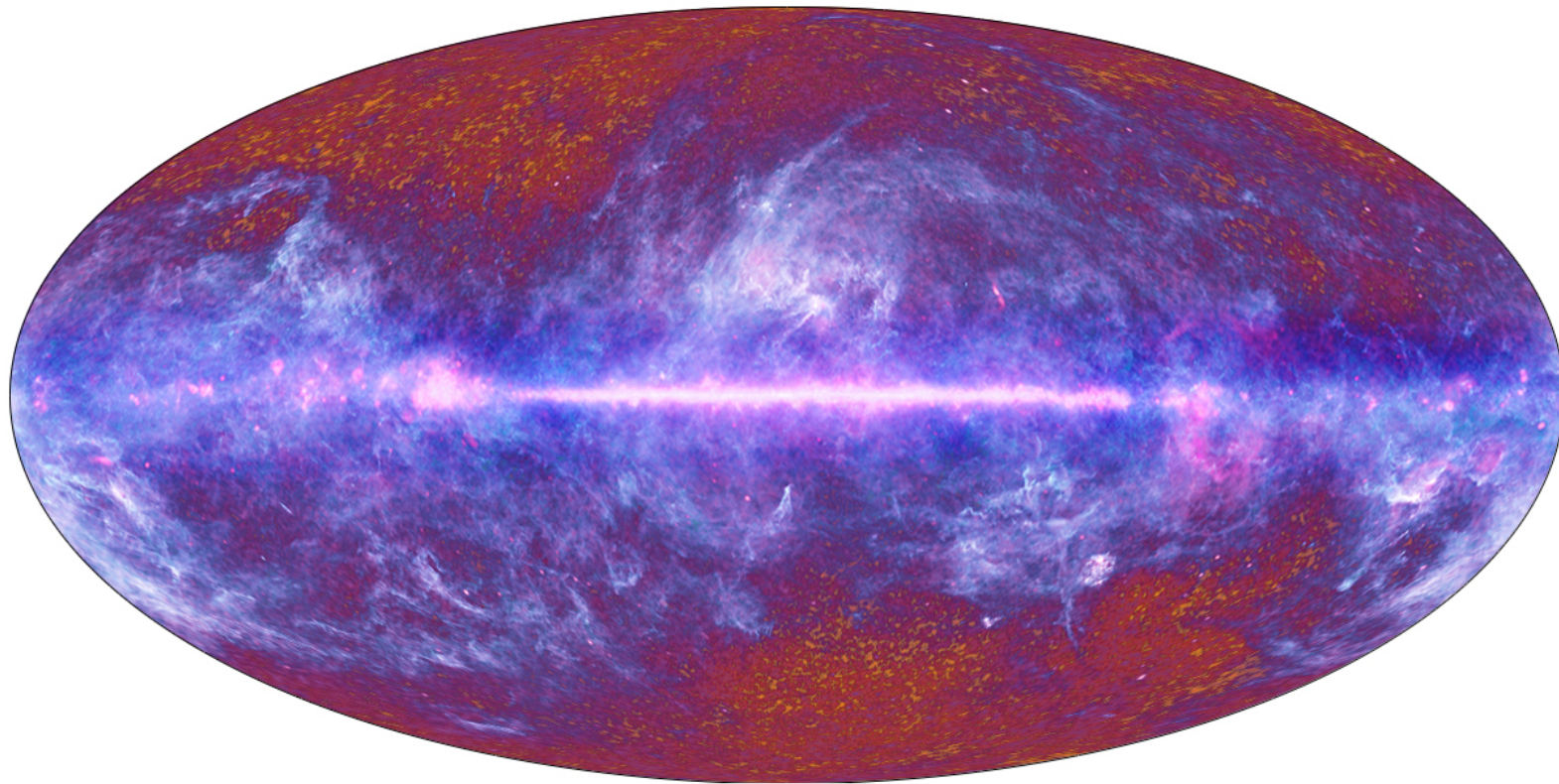
# 1. le ciel radio en 1992 ...

---



... et en 2010

---

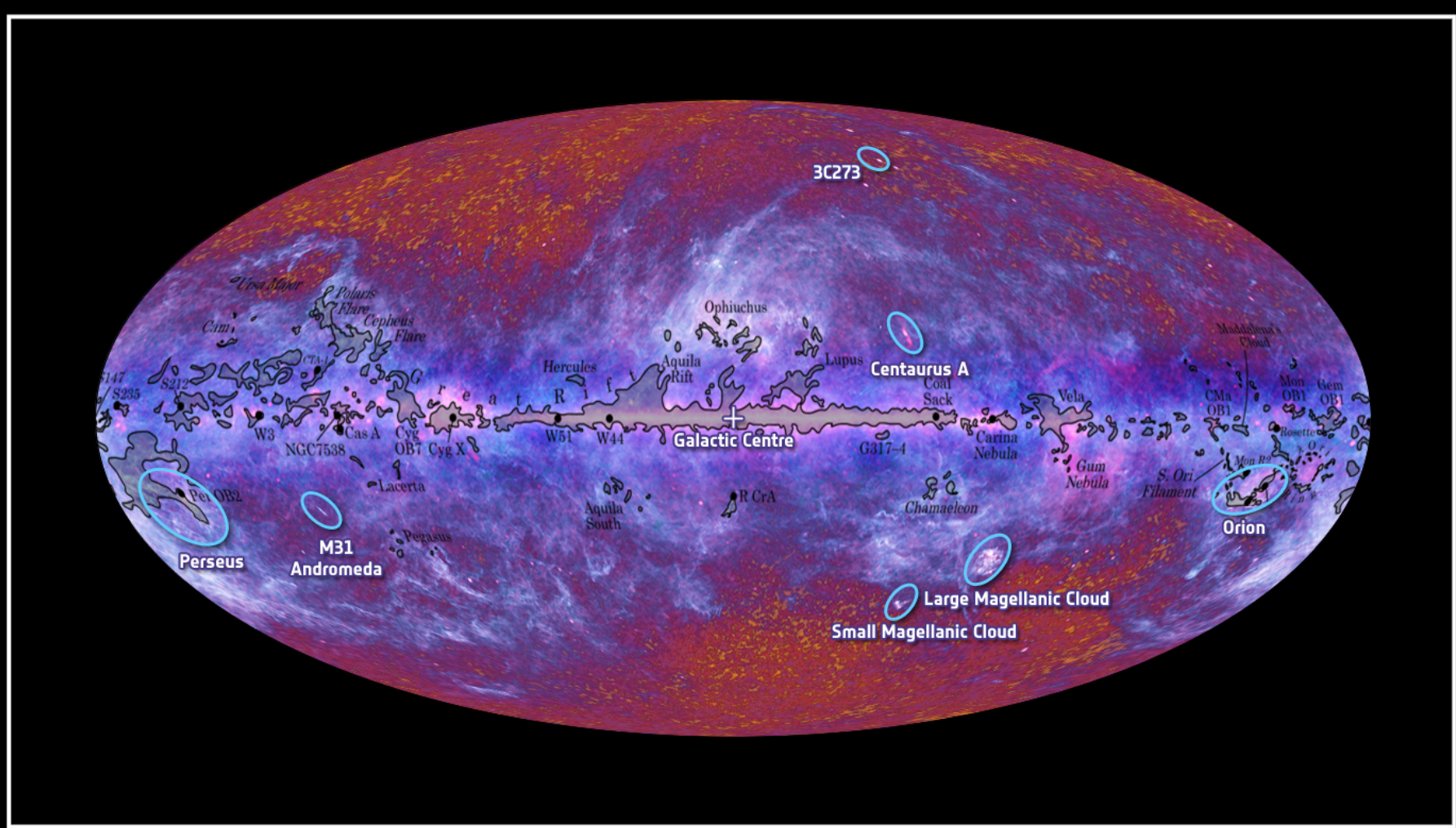


The PLANCK one-year all-sky survey



(c) ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

... et en 2010



The PLANCK one-year all-sky survey



(c) ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

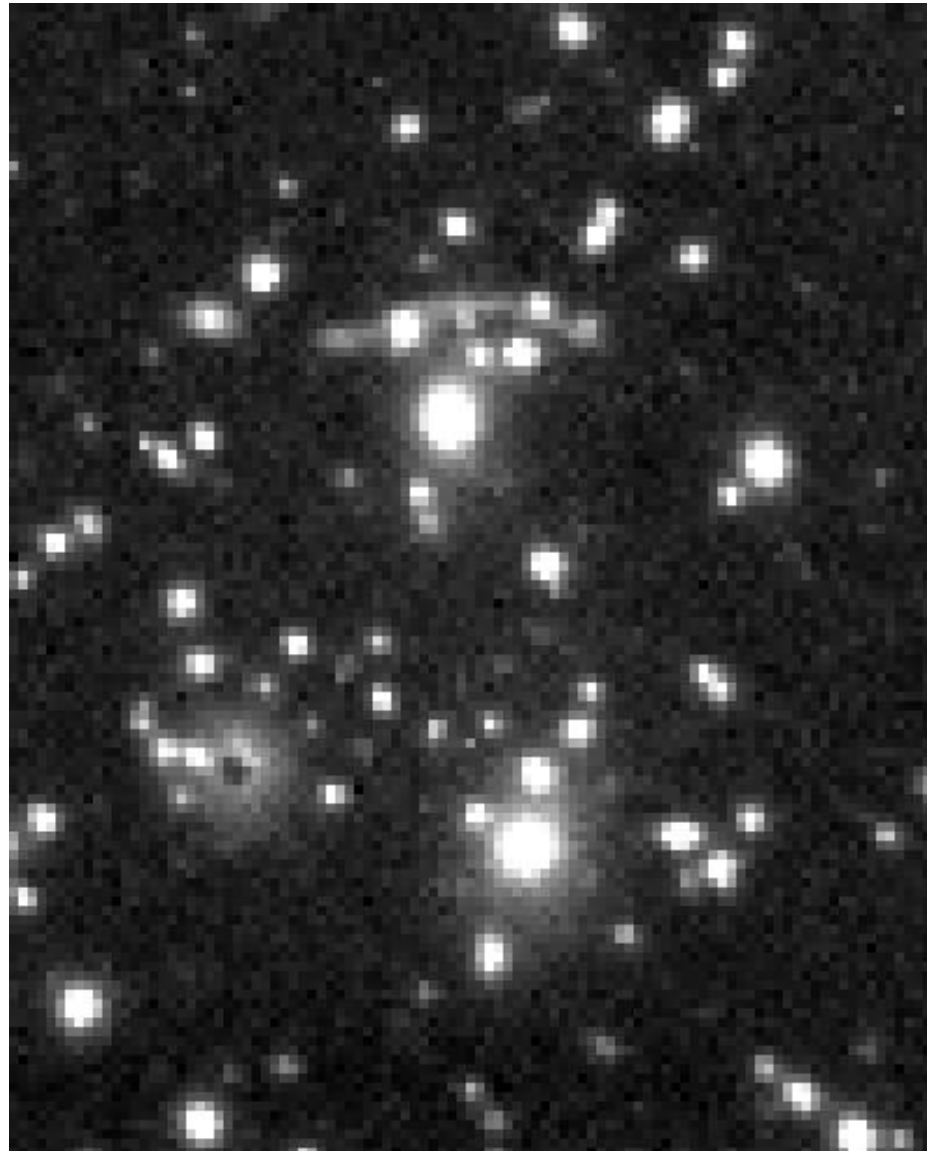


## 2. amas de galaxies en 1985...

---

en 1985

télescope  
CFHT  
Hawai'i

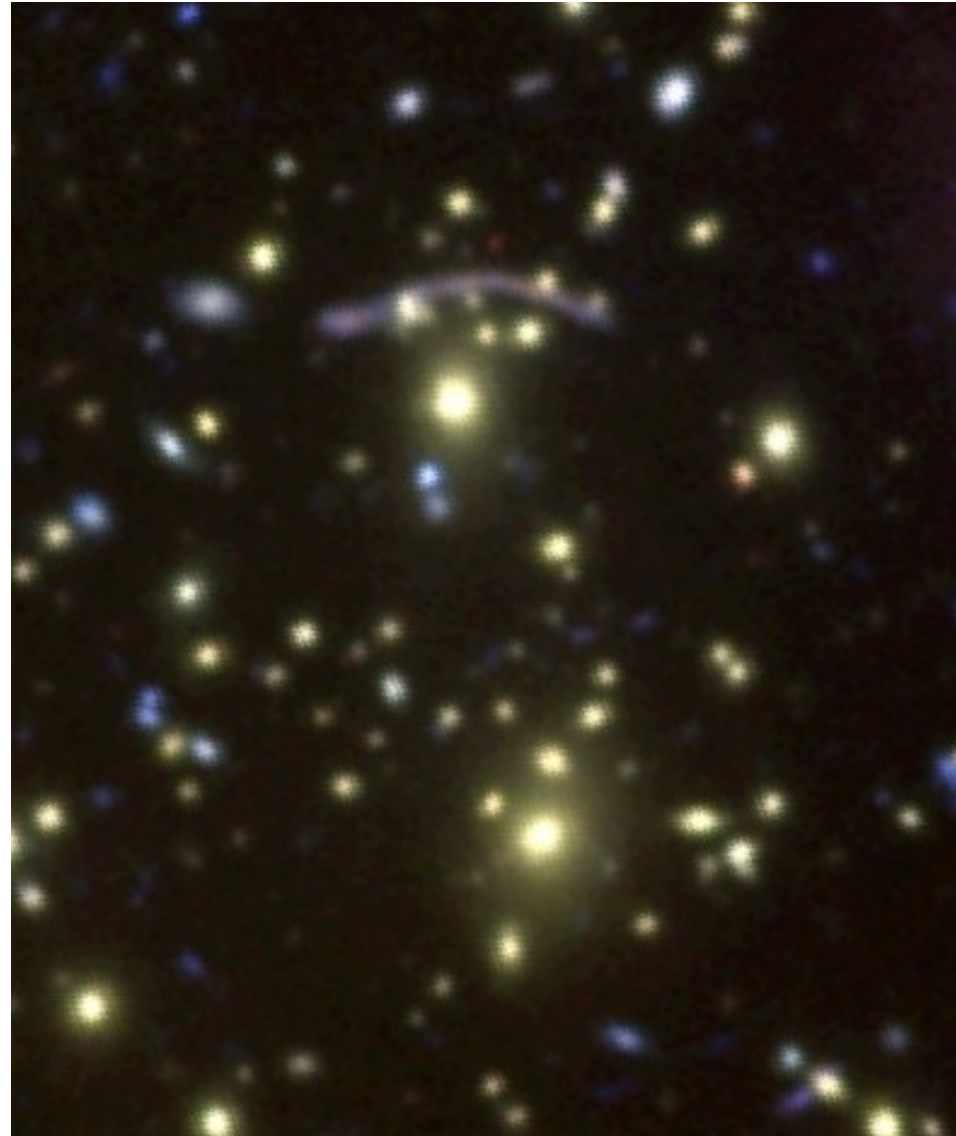


# amas de galaxies en 1990...

---

en 1990

télescope  
CFHT  
Hawai'i



# ... amas de galaxies en 2009

---

en 2009

télescope  
Hubble



# pourquoi ces progrès ?

---

Nécessité **scientifique** d'observer des astres

- à toutes les fréquences de la lumière
- peu lumineux
- lointains
- « petits » en taille angulaire

Ces observations sont confrontées aux **théories physiques**, modèles et simulations numériques pour permettre de **comprendre la formation et l'évolution** de notre Univers et de ses constituants.

**Observation** et **théorie** sont nécessaires.

# pourquoi ces progrès ?

---

- cette nécessité **scientifique** est le **moteur** de l'évolution **technologique** en astrophysique
- demande **sociétale** et/ou politique, économique ou **géostratégique** de poursuivre des développements technologiques, dont l'astrophysique est le moteur ou le bénéficiaire

# pourquoi ces progrès ?

---

- cette nécessité **scientifique** est le **moteur** de l'évolution **technologique** en astrophysique
- demande **sociétale** et/ou politique, économique ou **géostratégique** de poursuivre des développements technologiques, dont l'astrophysique est le moteur ou le bénéficiaire

satellite Planck  
ESA

~15 ans  
~1 milliard d'Euro  
dont 600 ME pour la France

satellite Spitzer  
NASA

~20 ans  
~1.3 milliards \$

4+2 télescopes VLT  
ESO

~10 ans  
~500 millions d'Euro

comparaisons perfides:

- coût baisse TVA restauration: 2.5 milliards en 1 an
- coût bouclier fiscal 2007+2008: 1.1 milliards en 2 ans
- coût d'un rafale: 140 millions (Planck=1/2 rafale/an)

Ballon Archeops  
CNES

~5 ans  
~5 millions d'Euro

# au menu

---

télescopes au sol

télescopes dans  
l'espace

détecteurs

exoplanètes

trou noir

galaxies

matière noire

rayonnement  
cosmologique

expansion de  
l'Univers

---

# télescopes au sol

---



# « petits » télescopes: <4m

---



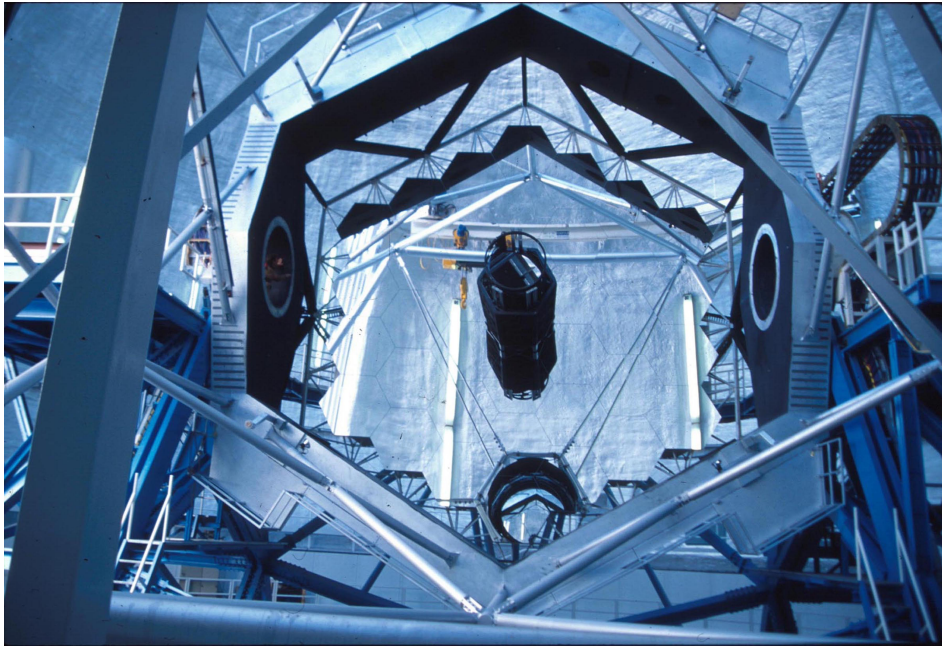
NTT, ESO, Chili, 3.60m



CFHT, Hawai'i 3.60m

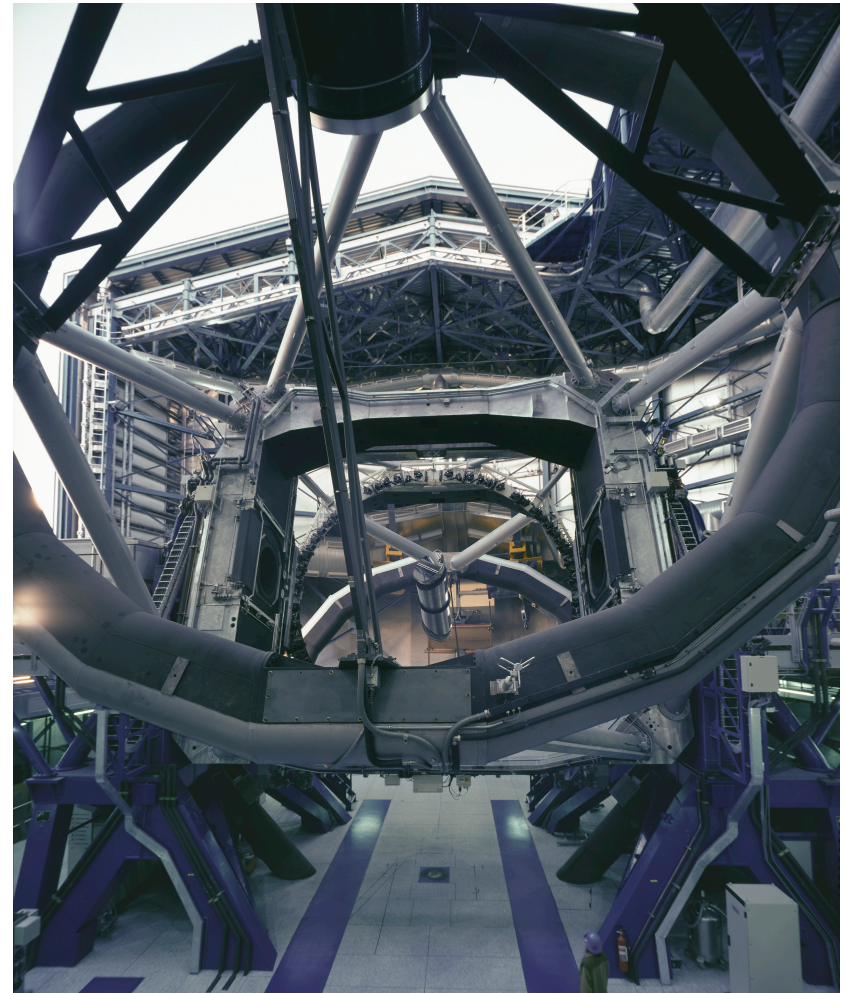
# « grands » télescopes: >8m

---



Keck: 10m

avènement des grands  
télescopes dans les années 1990



VLT: 8m

# les plus grands télescopes

---



GBT: 100m



Nobeyama: 45m

# les réseaux de télescopes

---



Plateau de Bure, France - IRAM



Very Large Array, NM - NRAO



Australia Telescope Compact Array, NSW – ATNF CSIRO

Années 1980

et **ALMA** qui arrive

# grands télescopes optiques

---



Very Large Telescope, Chili – ESO  
la clef: télescope géant + instrumentation performante  
(caméra ou spectographe multi-objets)

ESO

---

# télescopes dans l'espace

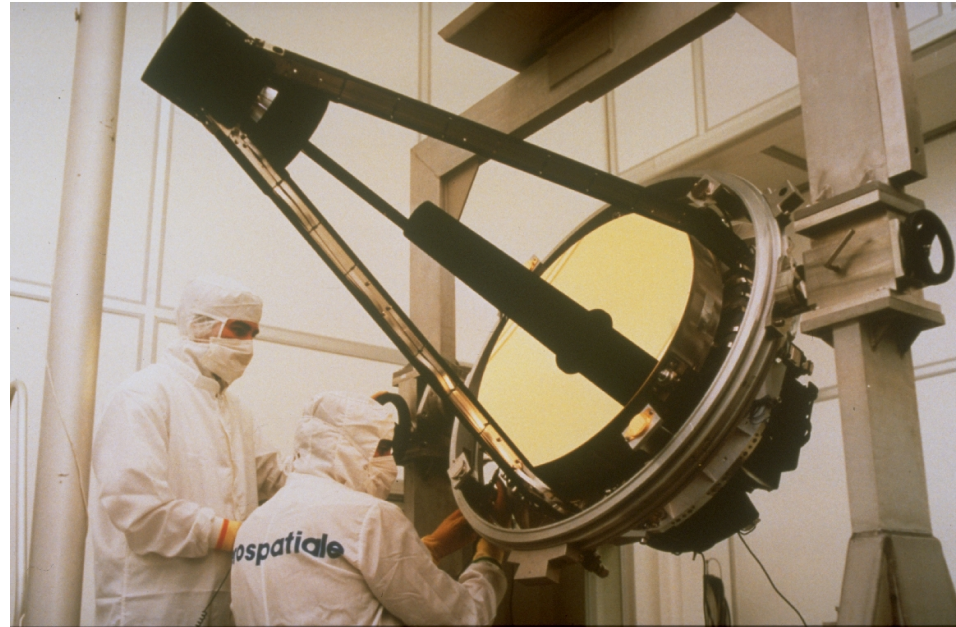
---



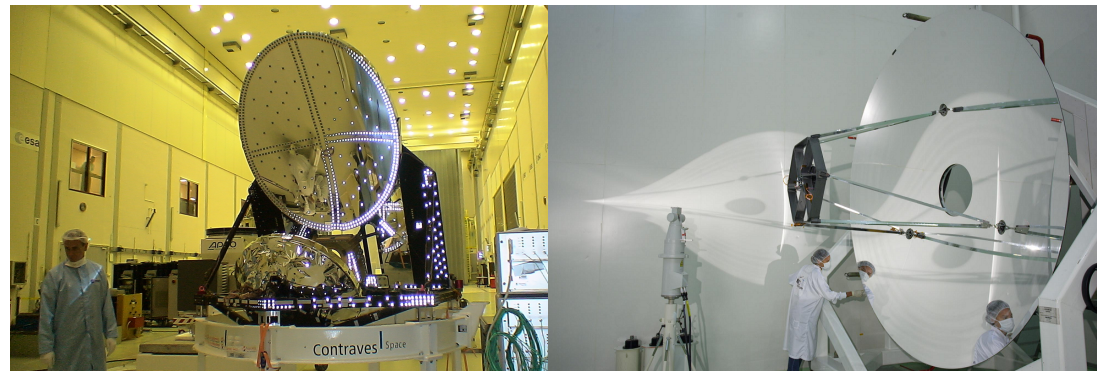
# télescopes dans l'espace: petits !



Spitzer: 85 cm lancé en 2003



ISO: 60 cm lancé en 1995



Planck: 1.80m – Herschel: 3.5m lancés en 2009

# télescopes dans l'espace: petits !

---



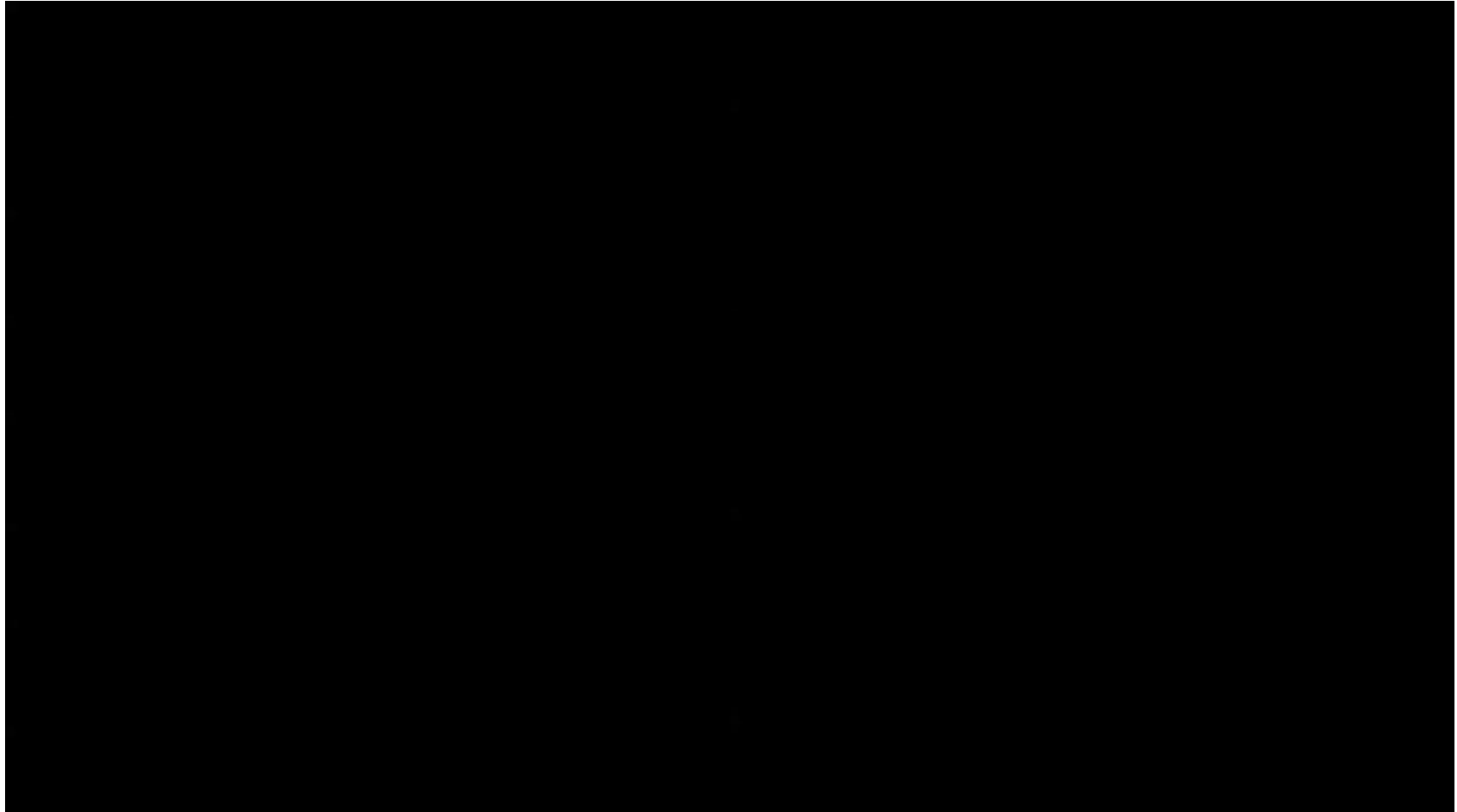
Hubble: 2.40m lancé en 1990

bientôt: **JWST** avec 6.5m



# 15 à 20 ans de projet...

---



# opérations quotidiennes Planck à Orsay

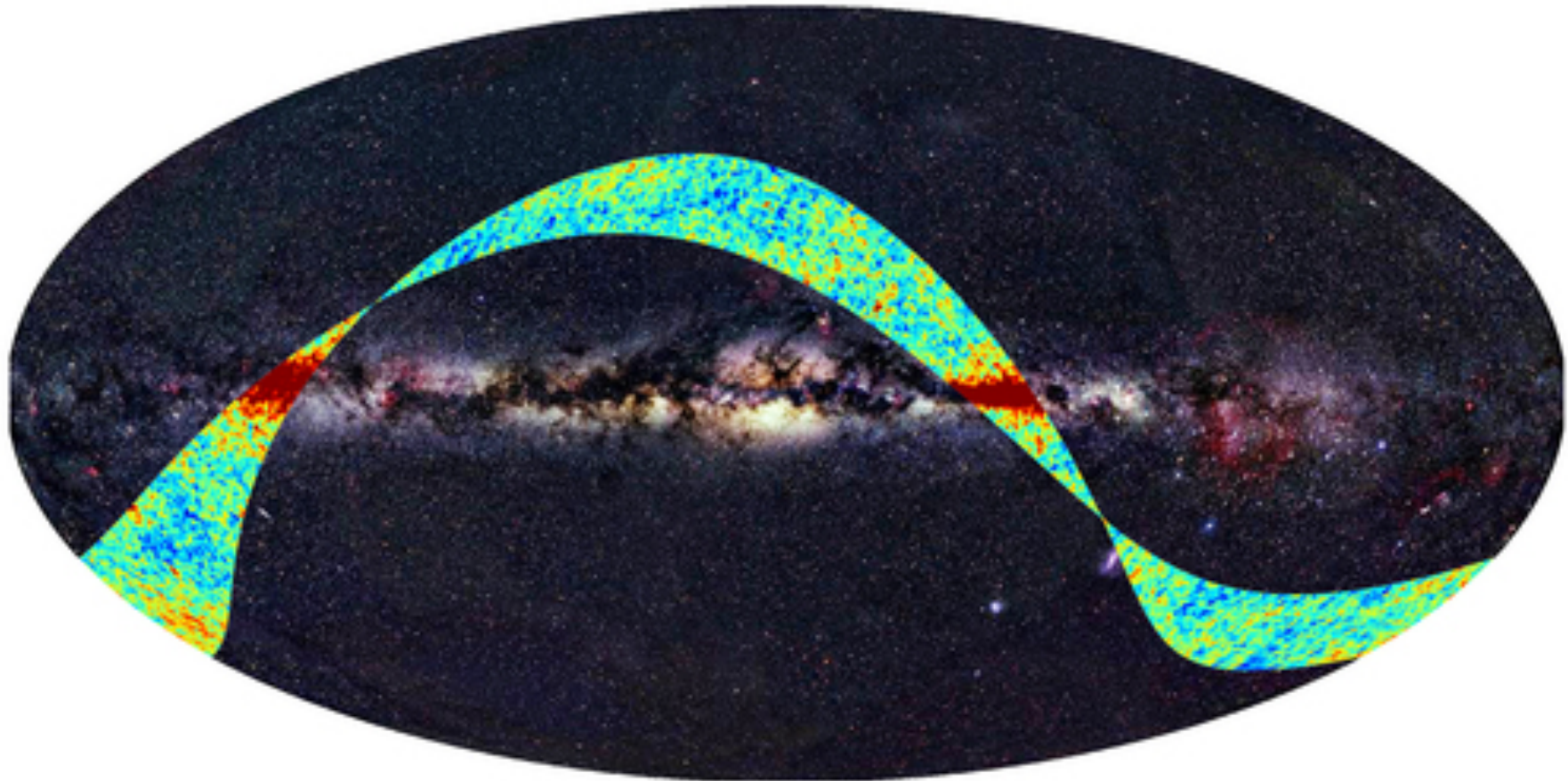
---



Planck HFI – Instrument Operation Room – Institut d’Astrophysique Spatiale

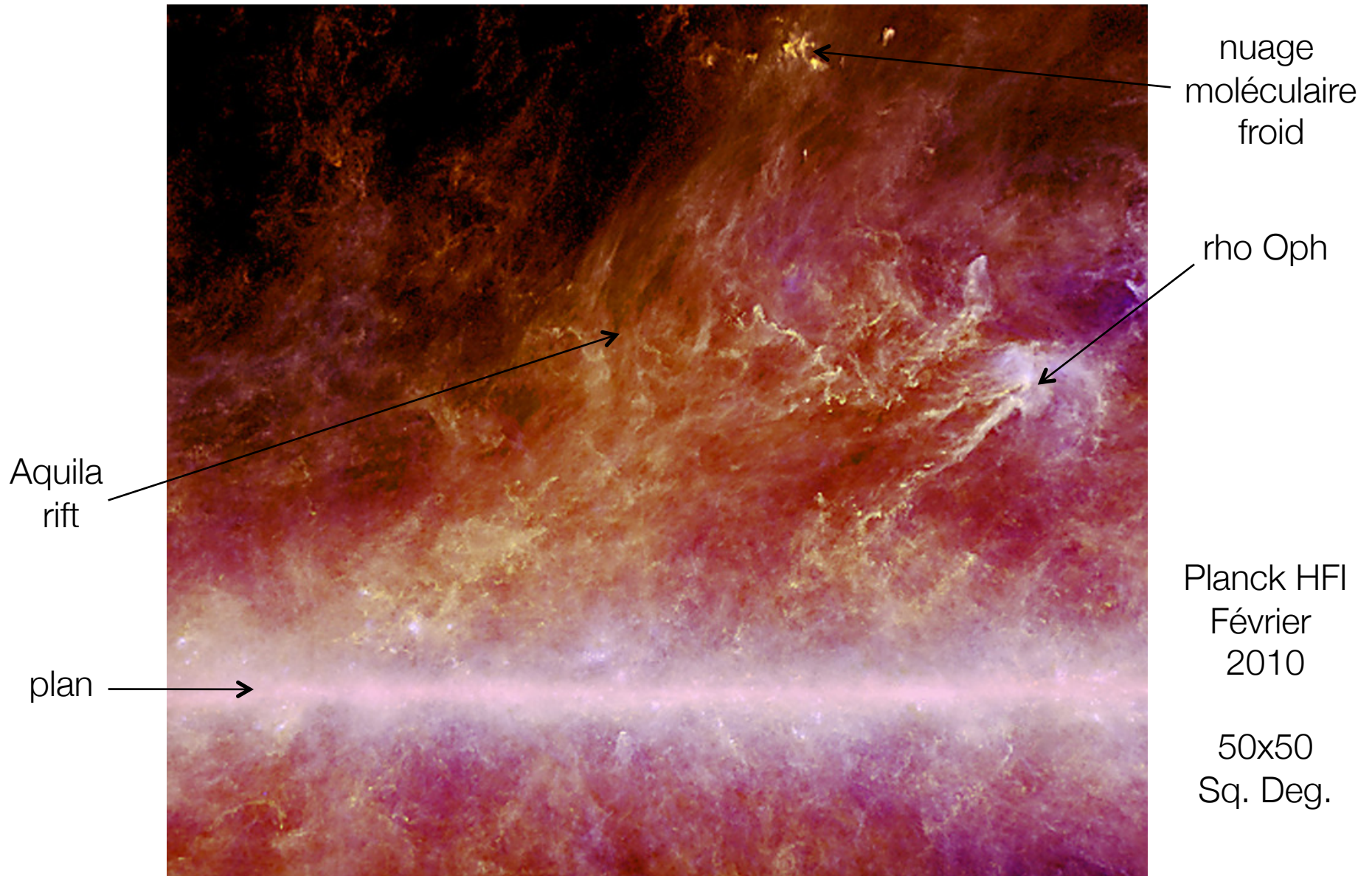
# premières images publiques de Planck

---



Planck First Light Survey – Septembre 2009

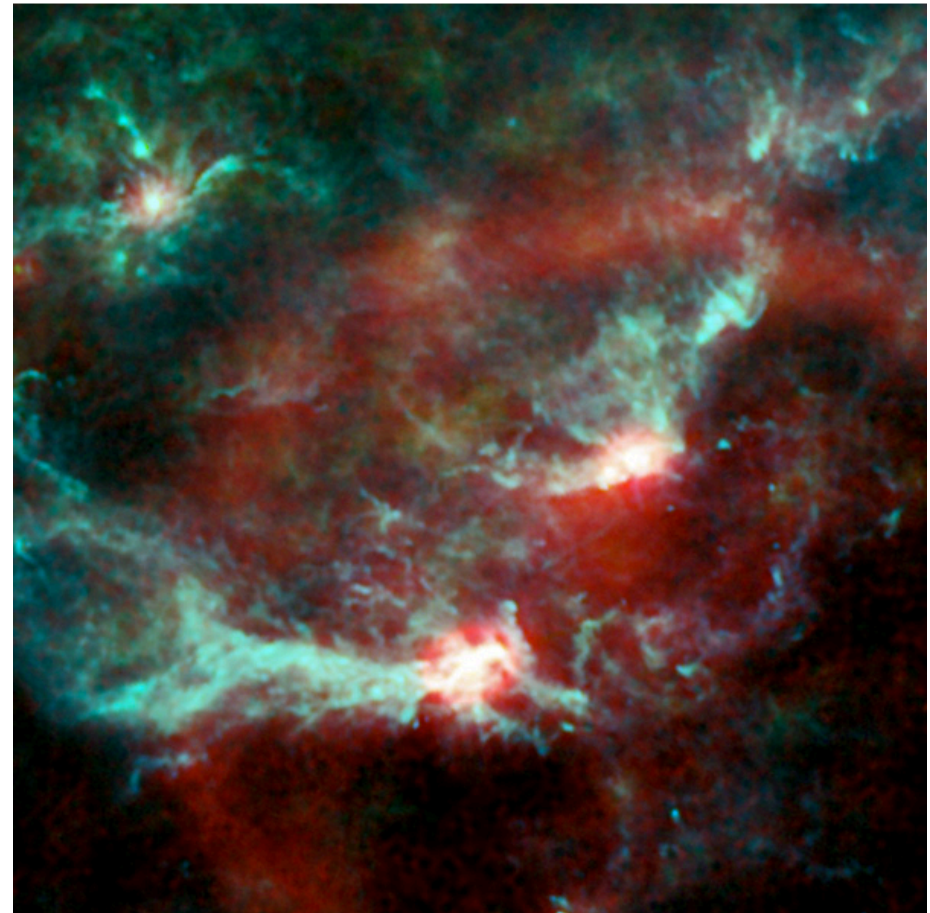
# premières images publiques de Planck



# premières images publiques de Planck

---

Planck HFI - Mars 2010 - Orion



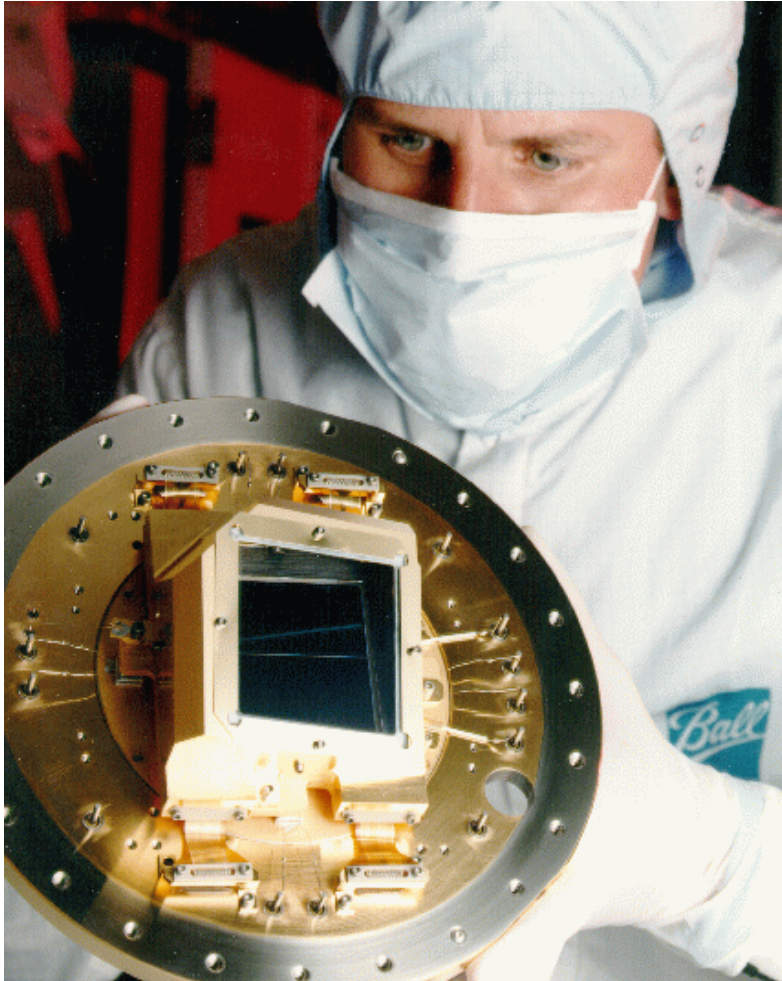
---

# détecteurs

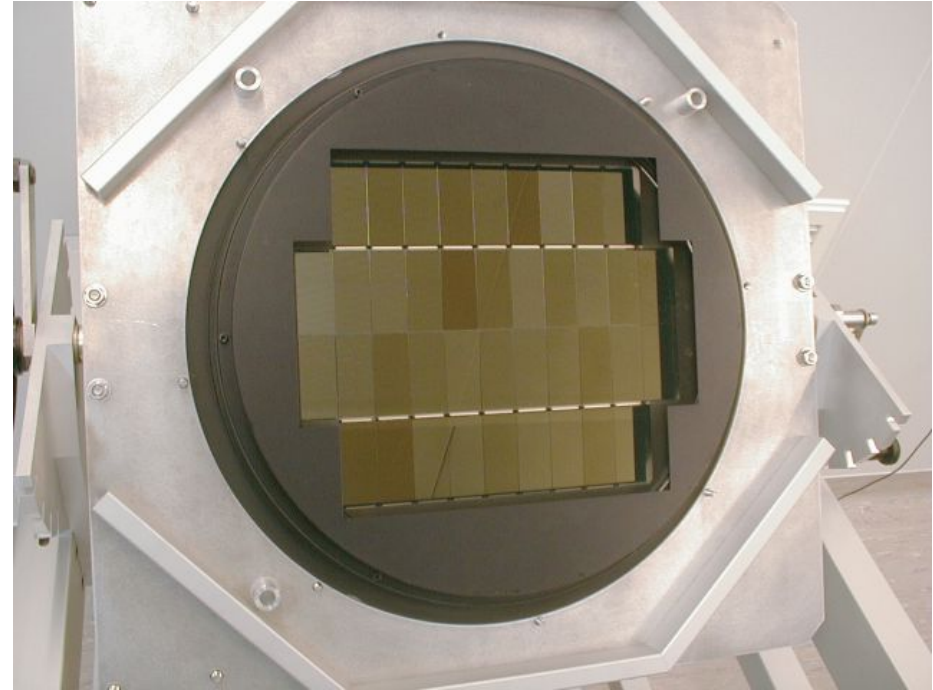
---

# taille des détecteurs

---

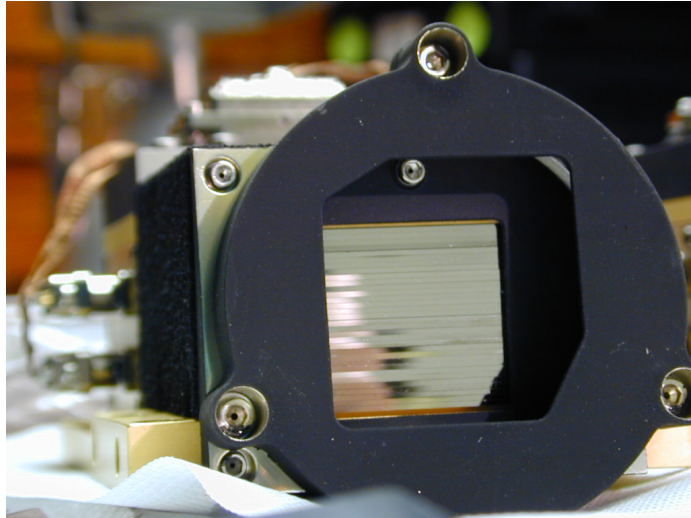


ACS – Ball - NASA

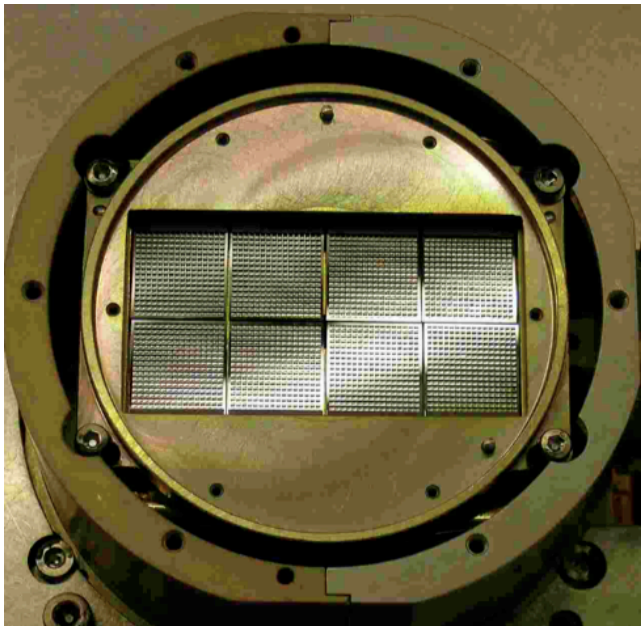


MegaCam  
340 millions pixels  
CEA

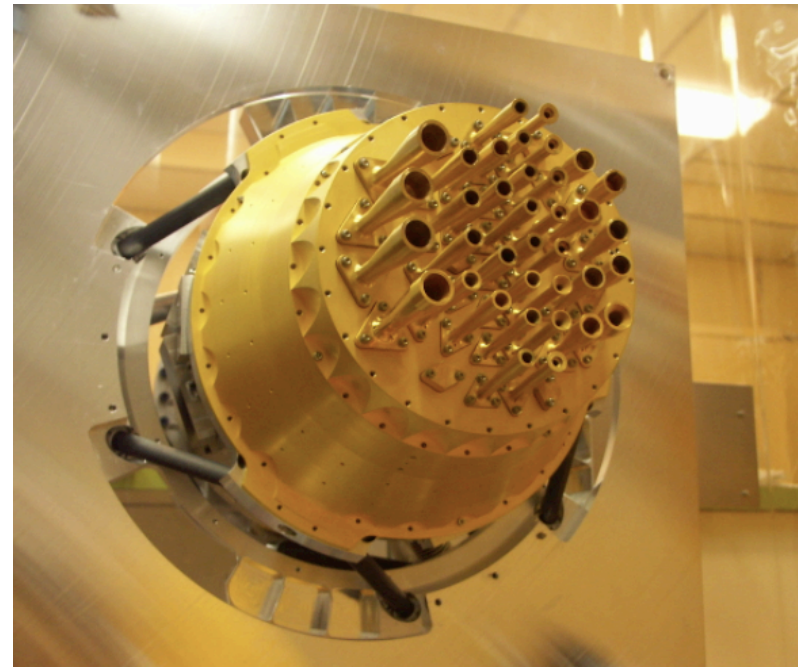
# types de détecteurs



MIPS 70um  
Spitzer  
1000 pixels  
NASA  
(H. Dole)



PACS  
Herschel  
CEA

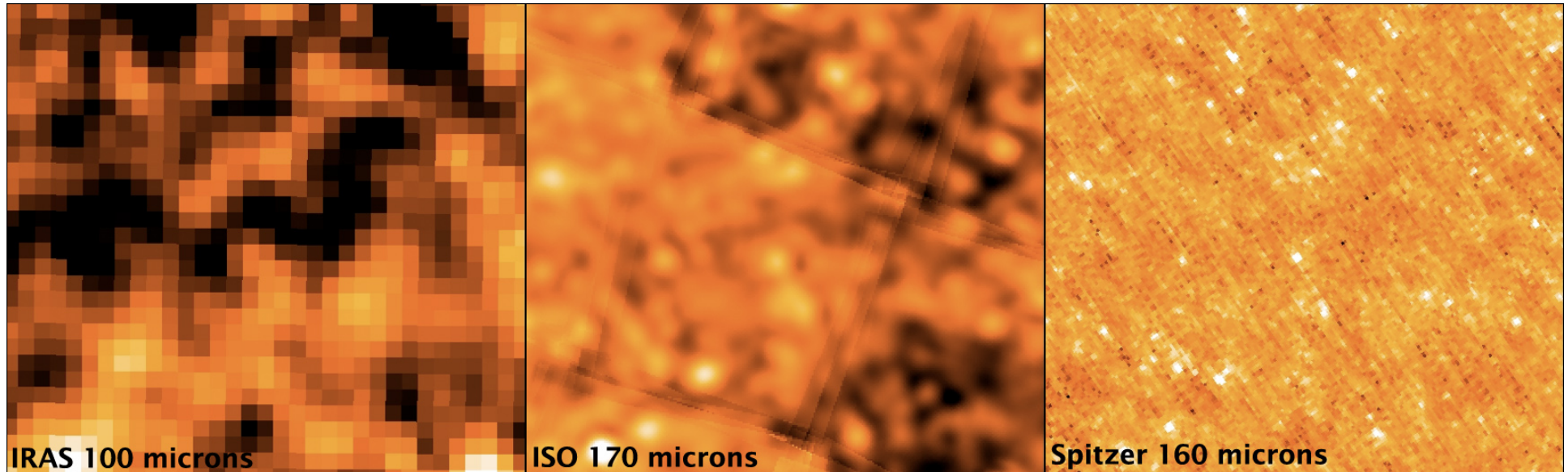


planck HFI  
refroidi à 0.1 K  
IAS, CNES, et HFI consortium



# gain en résolution angulaire

---



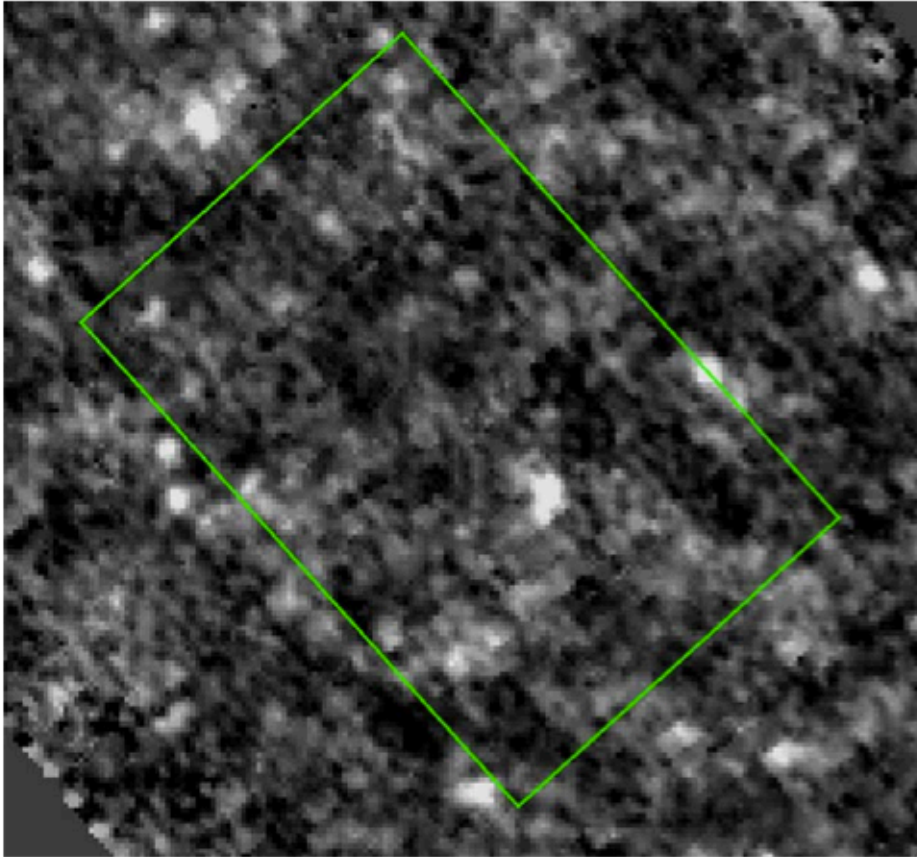
même région du ciel observée par 3 télescopes de génération différente

- IRAS en 1984
- ISO en 1997
- Spitzer en 2004

# résolution du fond infrarouge en galaxies

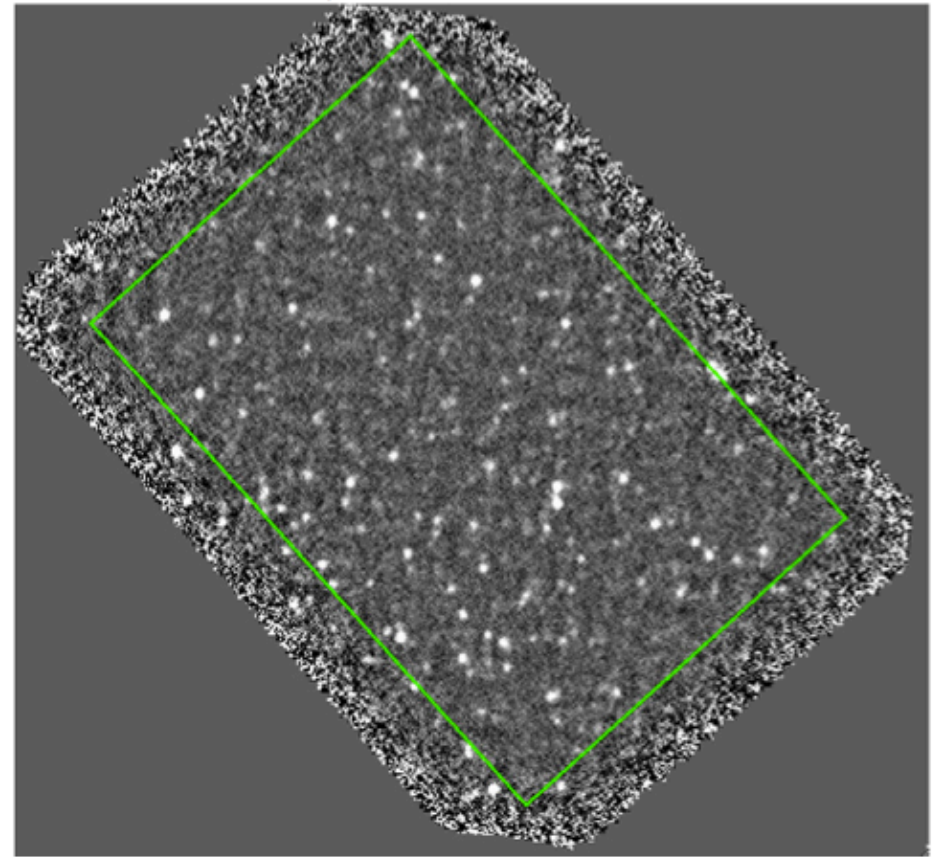
---

GOODS-N 160 $\mu$ m



Spitzer MIPS 160um  
FIDEL  
2005

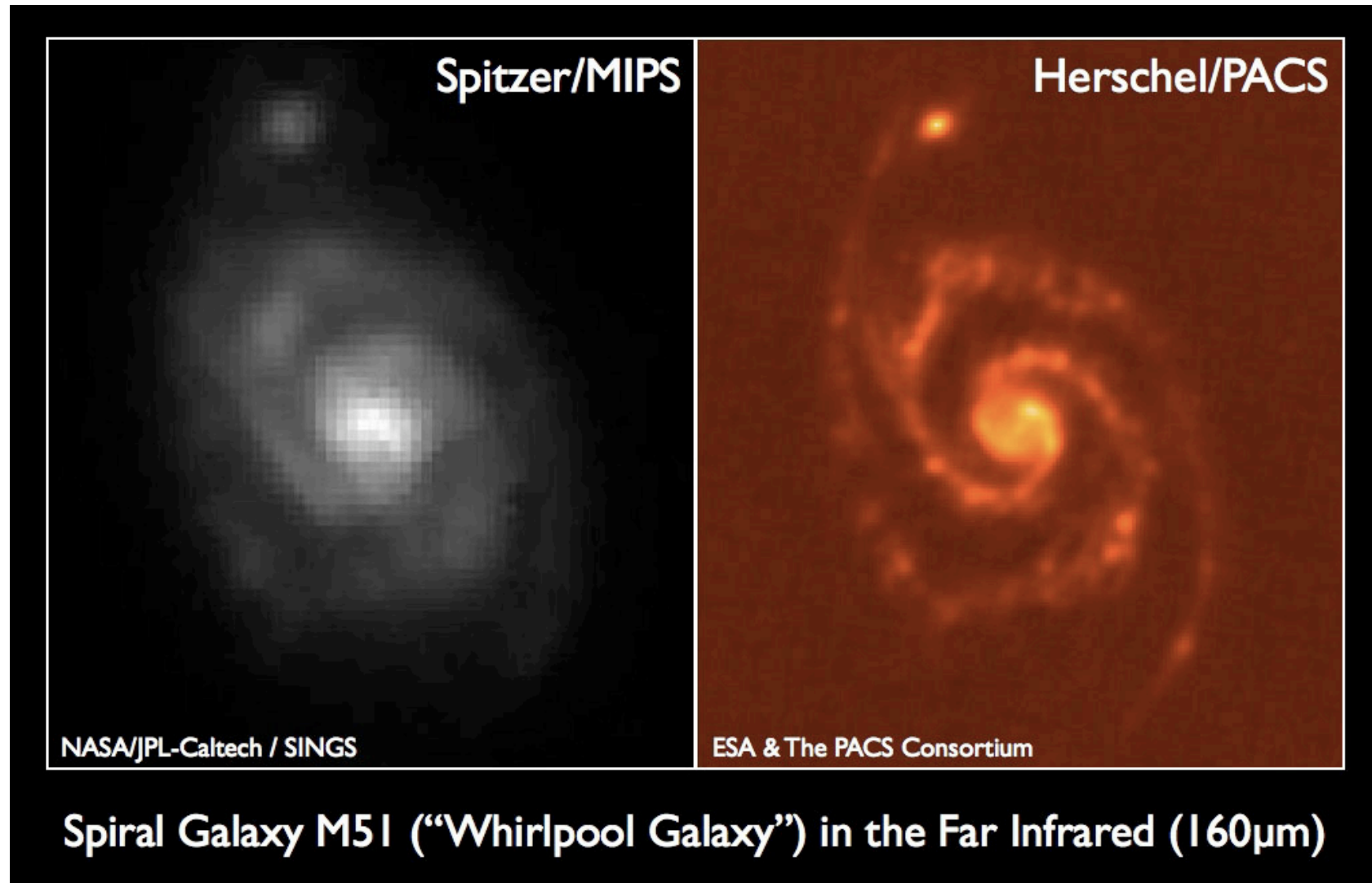
GOODS-N 160 $\mu$ m



Herschel PACS 160um  
PEP  
2010

# gain en résolution: détecteurs + télescope

---



---

# résultats scientifiques

---

# au menu

---

télescopes au sol

télescopes dans  
l'espace

détecteurs

exoplanètes

trou noir

galaxies

matière noire

rayonnement  
cosmologique

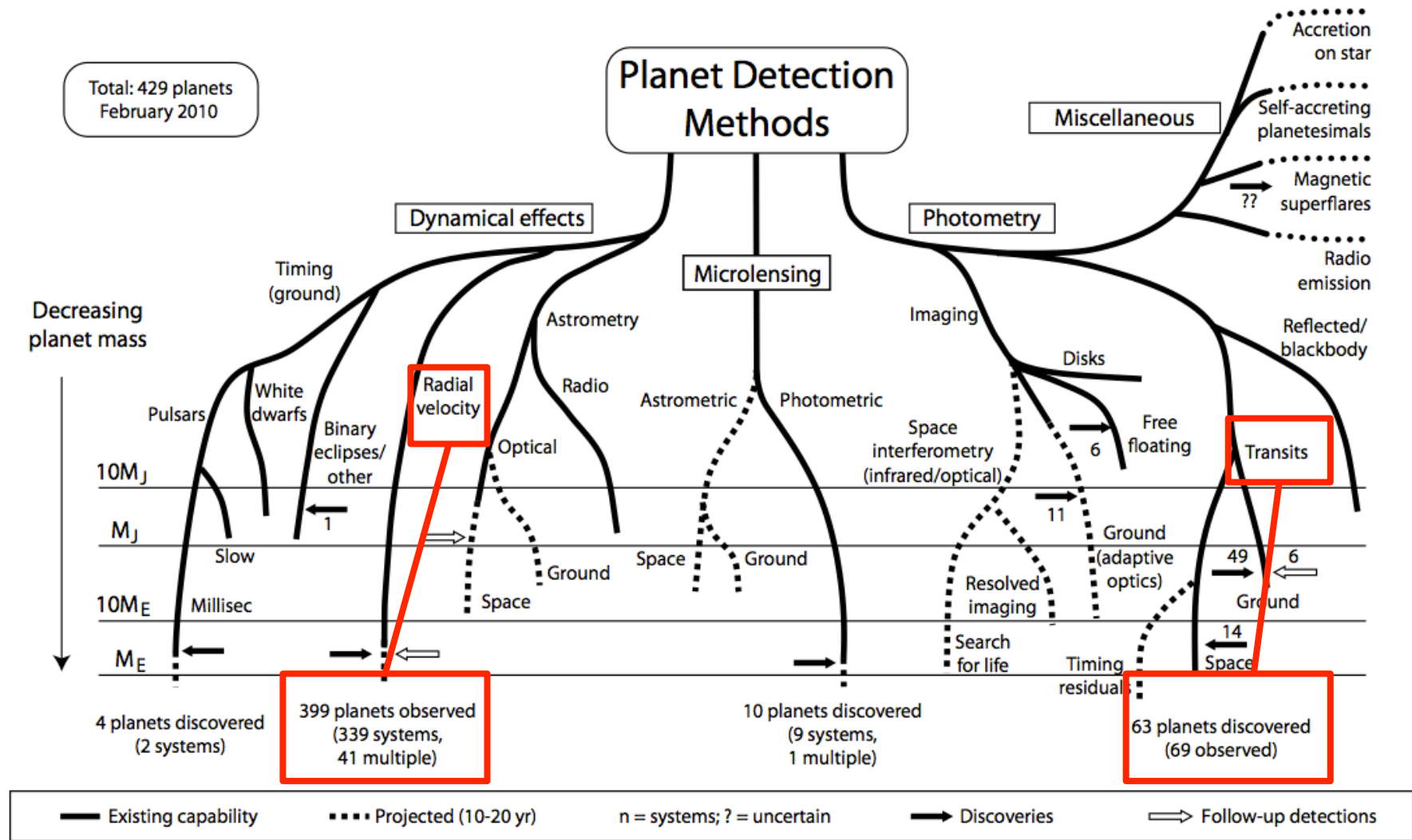
expansion de  
l'Univers

---

# exoplanètes

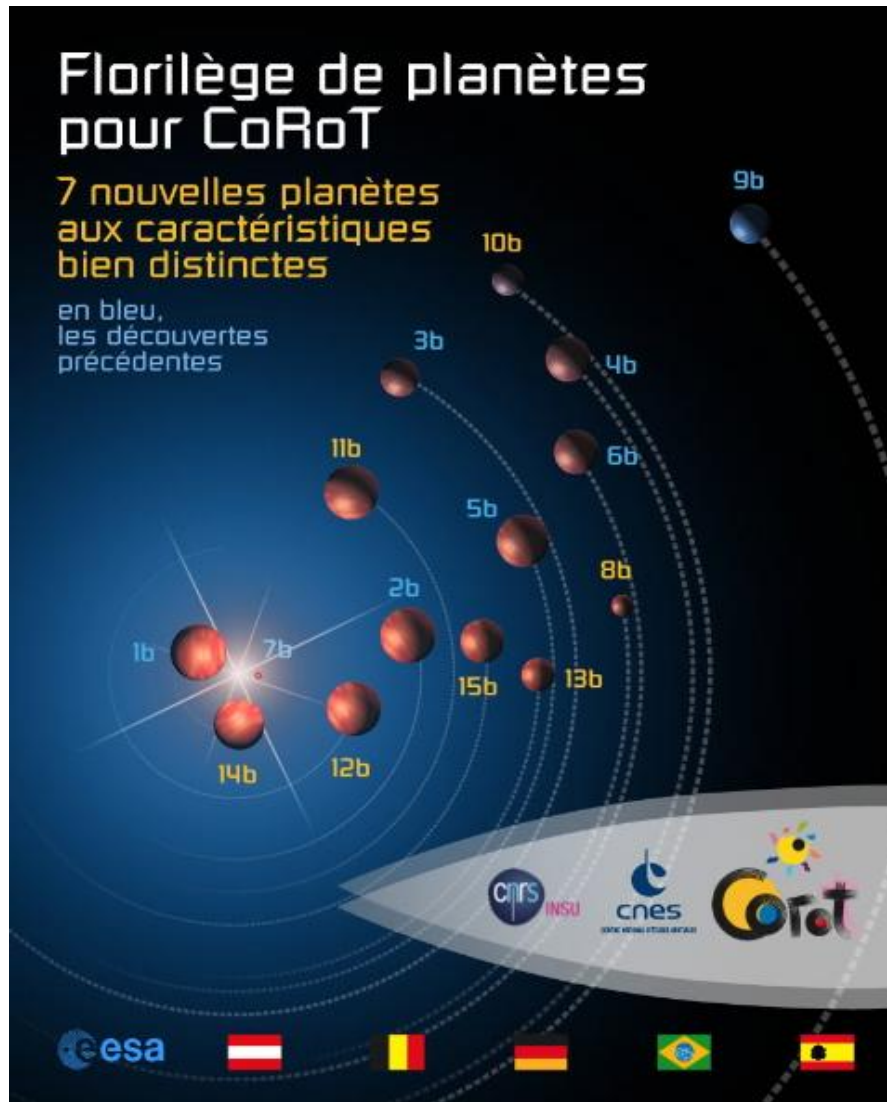
---

# 473 exoplanètes depuis 1995



Perryman Feb 2010

# 473 exoplanètes depuis 1995



- du Jupiter chaud
- au petit Saturne
- à la super Terre



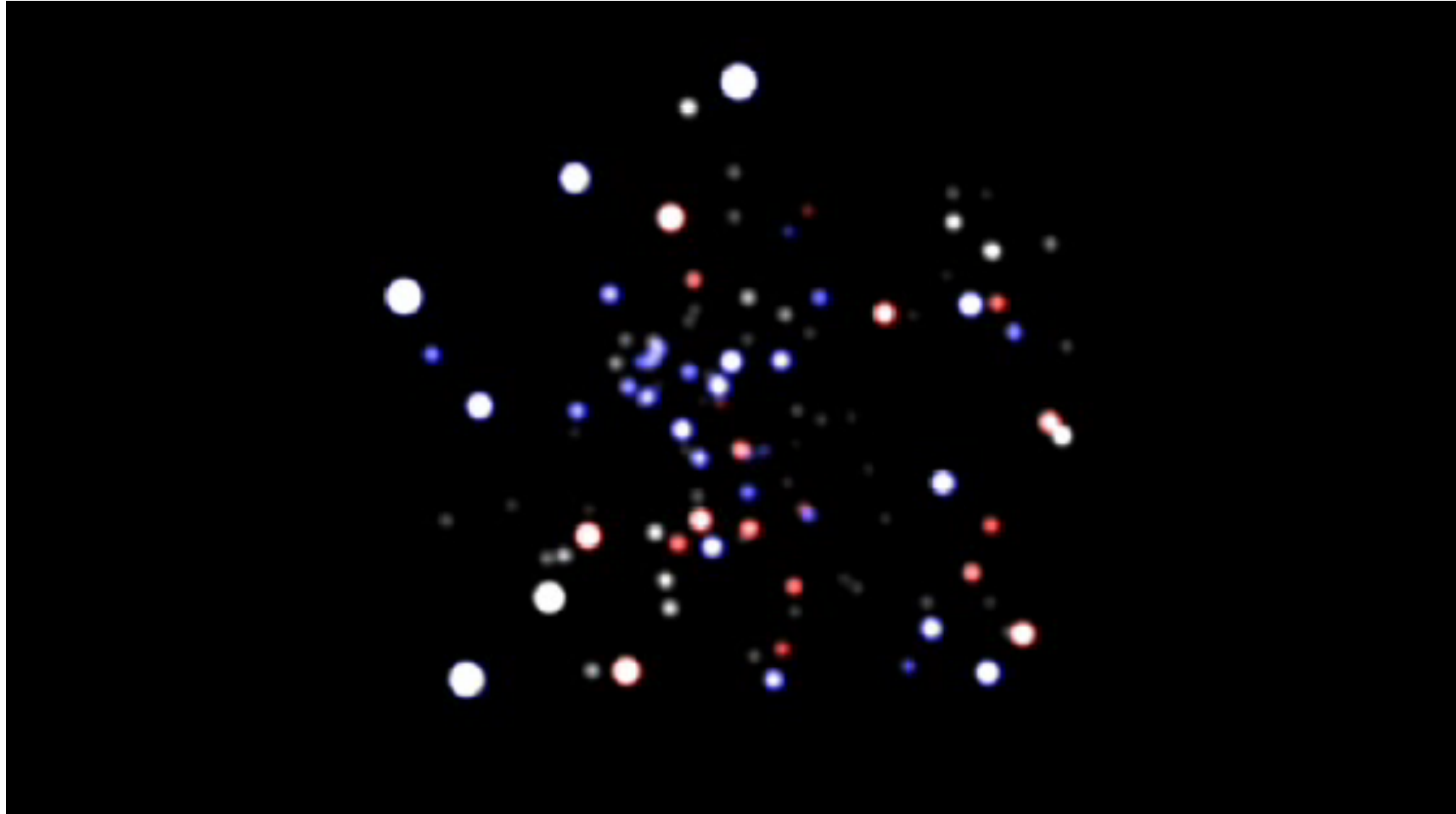
---

# trou noir

---

# trou noir au centre de notre Galaxie

---



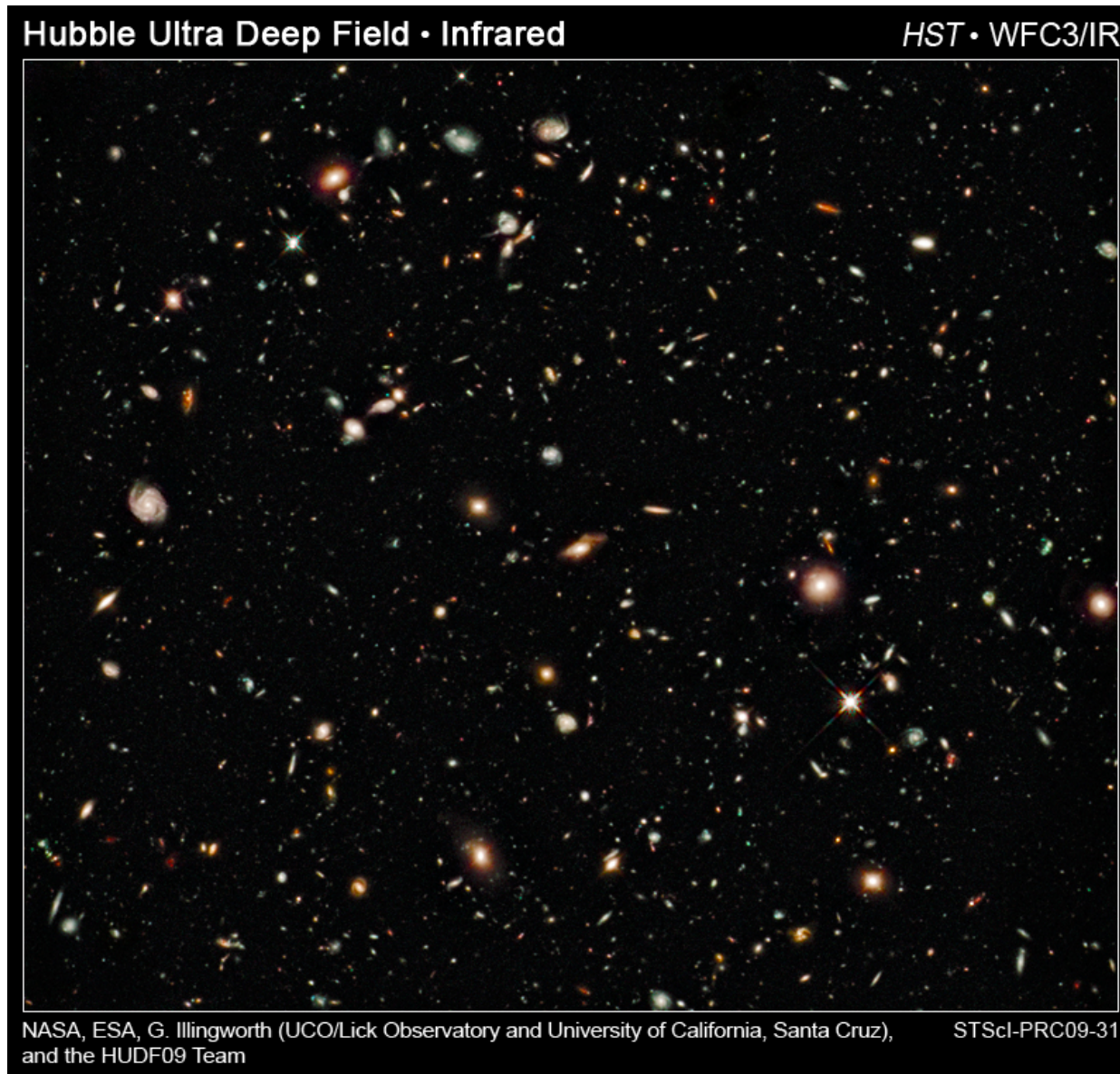
16 ans de données NTT et VLT – ESO -MPG

---

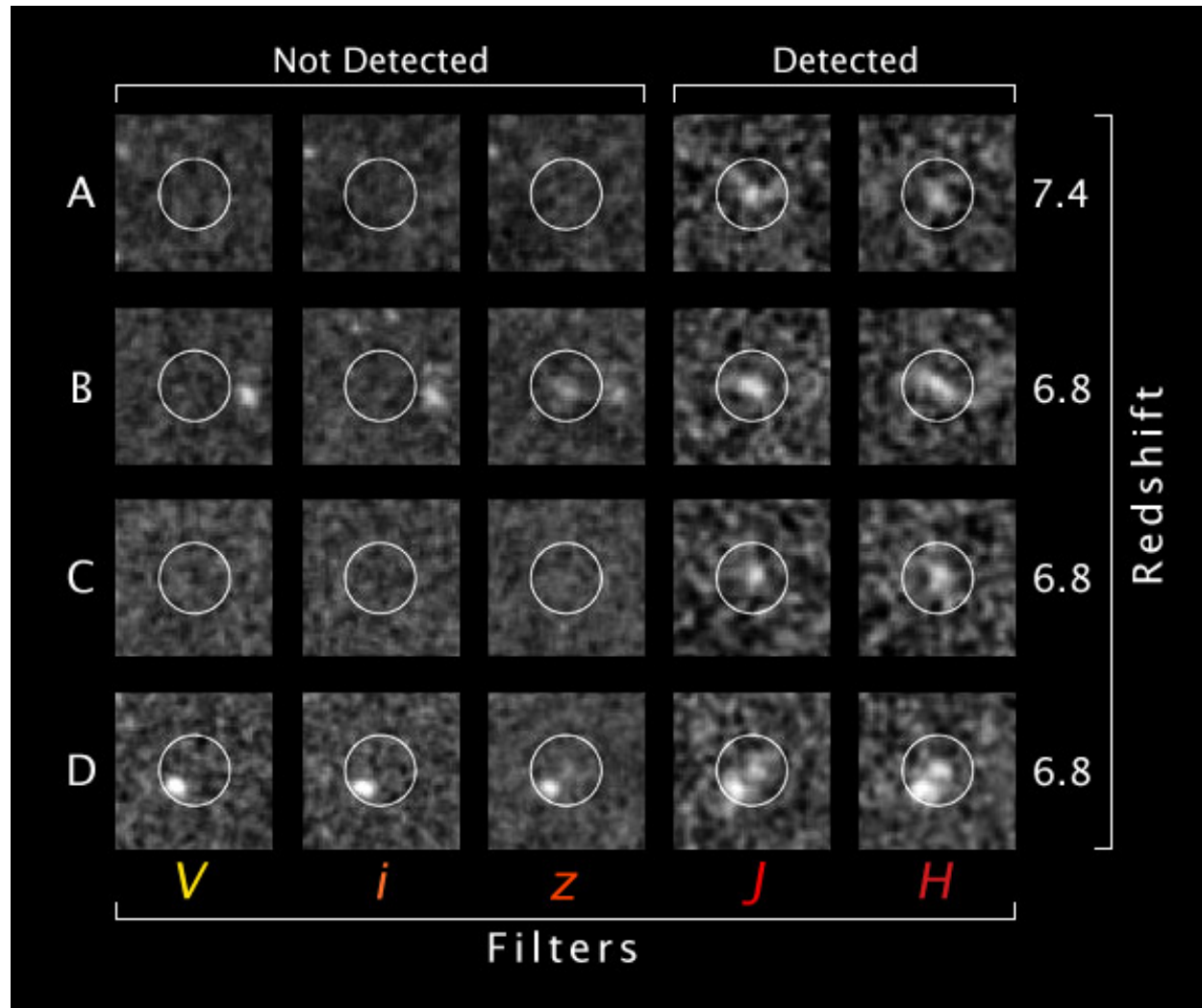
# galaxies

---

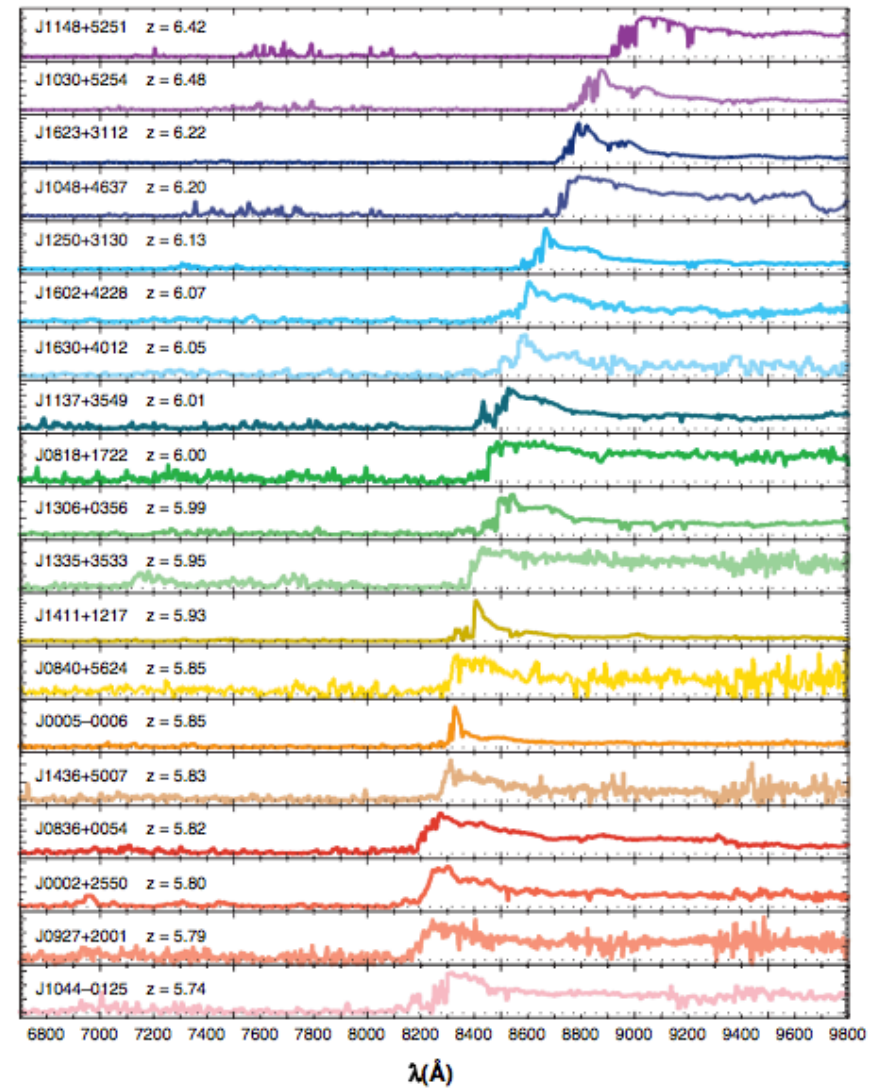
# voir loin c'est voir il y a longtemps



# quelques galaxies lointaines



# la lumière se décale vers le rouge



Fan, 2006, ARAA

Figure 1

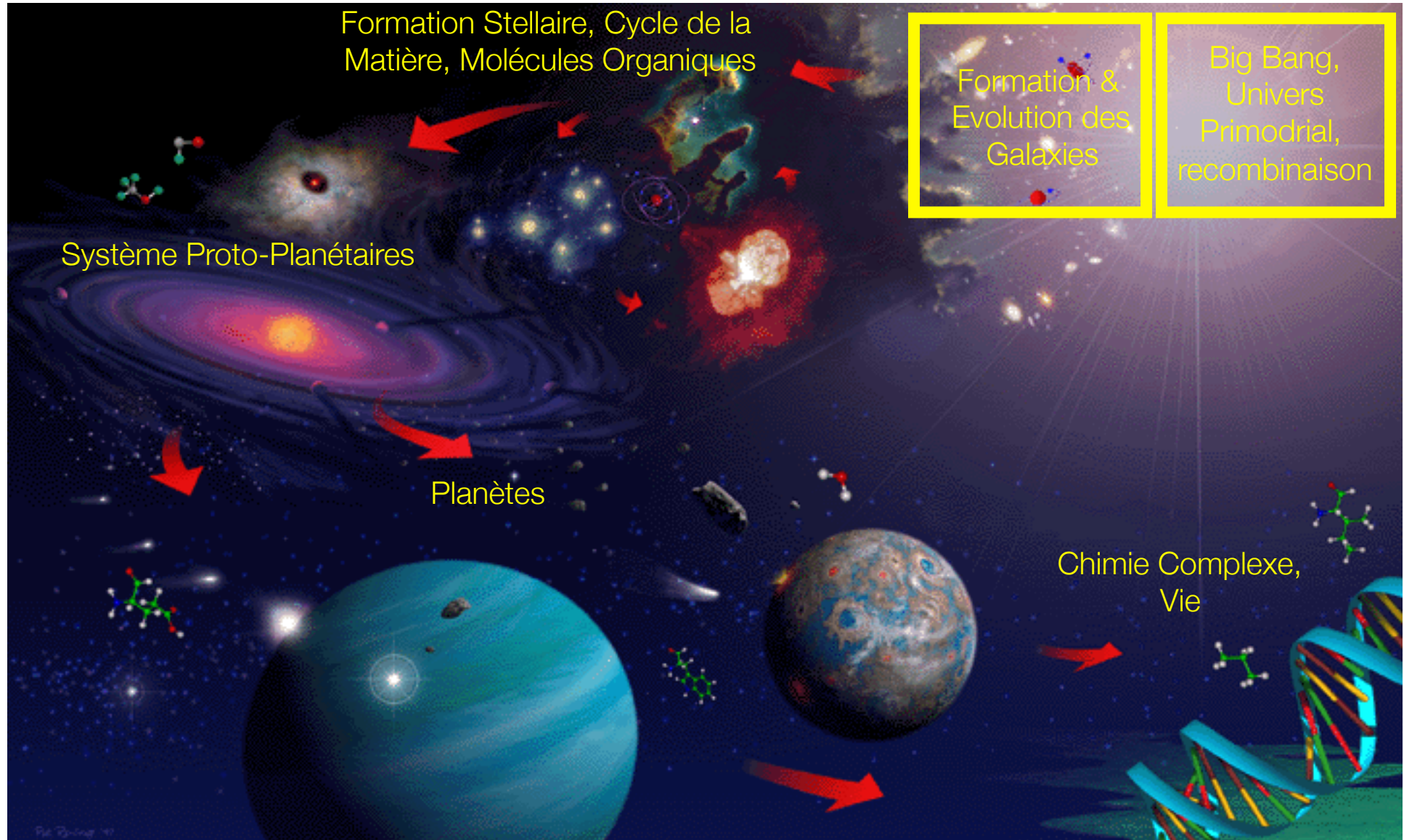
Moderate resolution spectra of nineteen SDSS quasars at  $5.74 < z < 6.42$ . Adapted from Fan et al. (2006b).

---

# rayonnement cosmologique

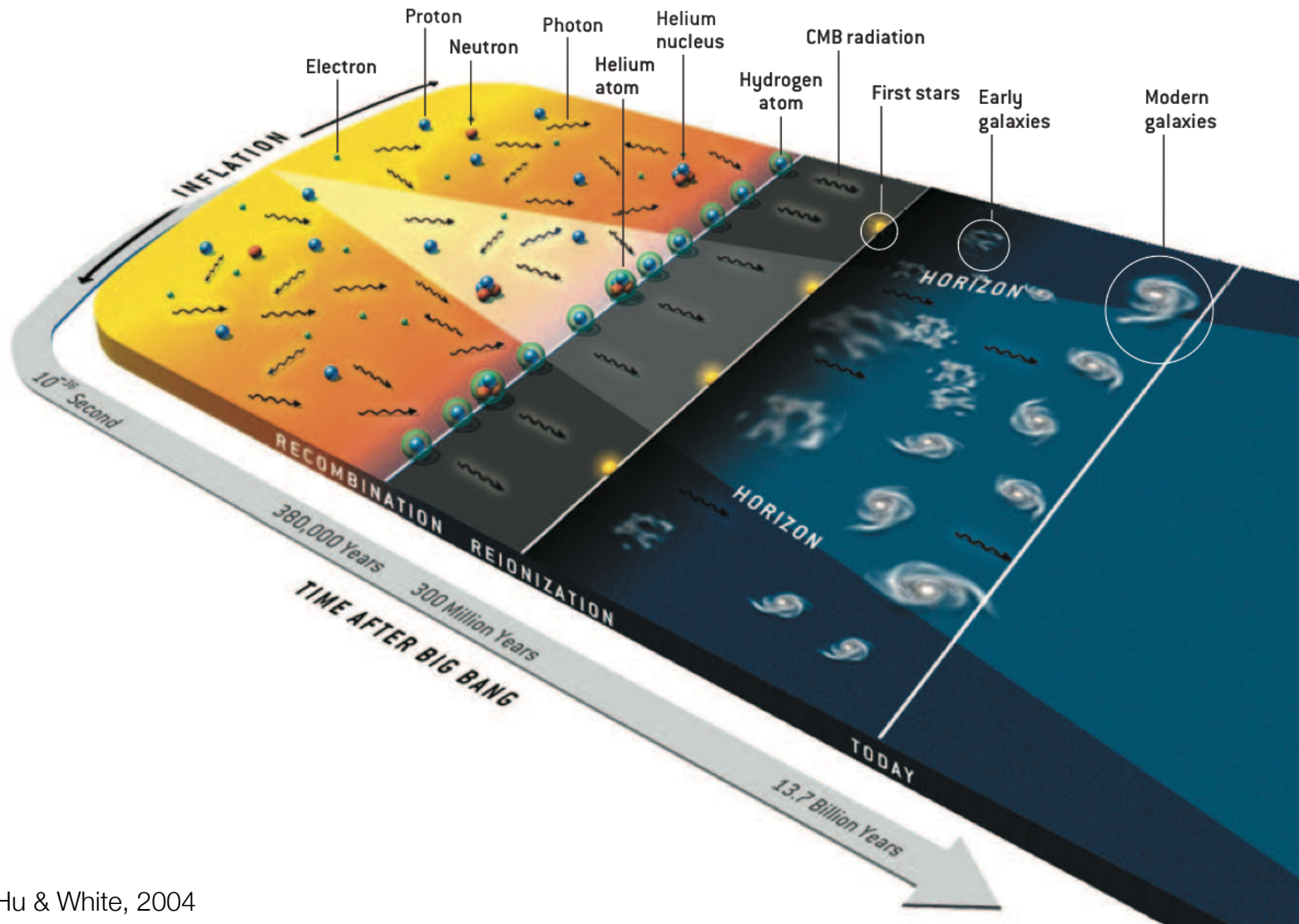
---

# petite histoire de l'Univers





# petite histoire de l'Univers

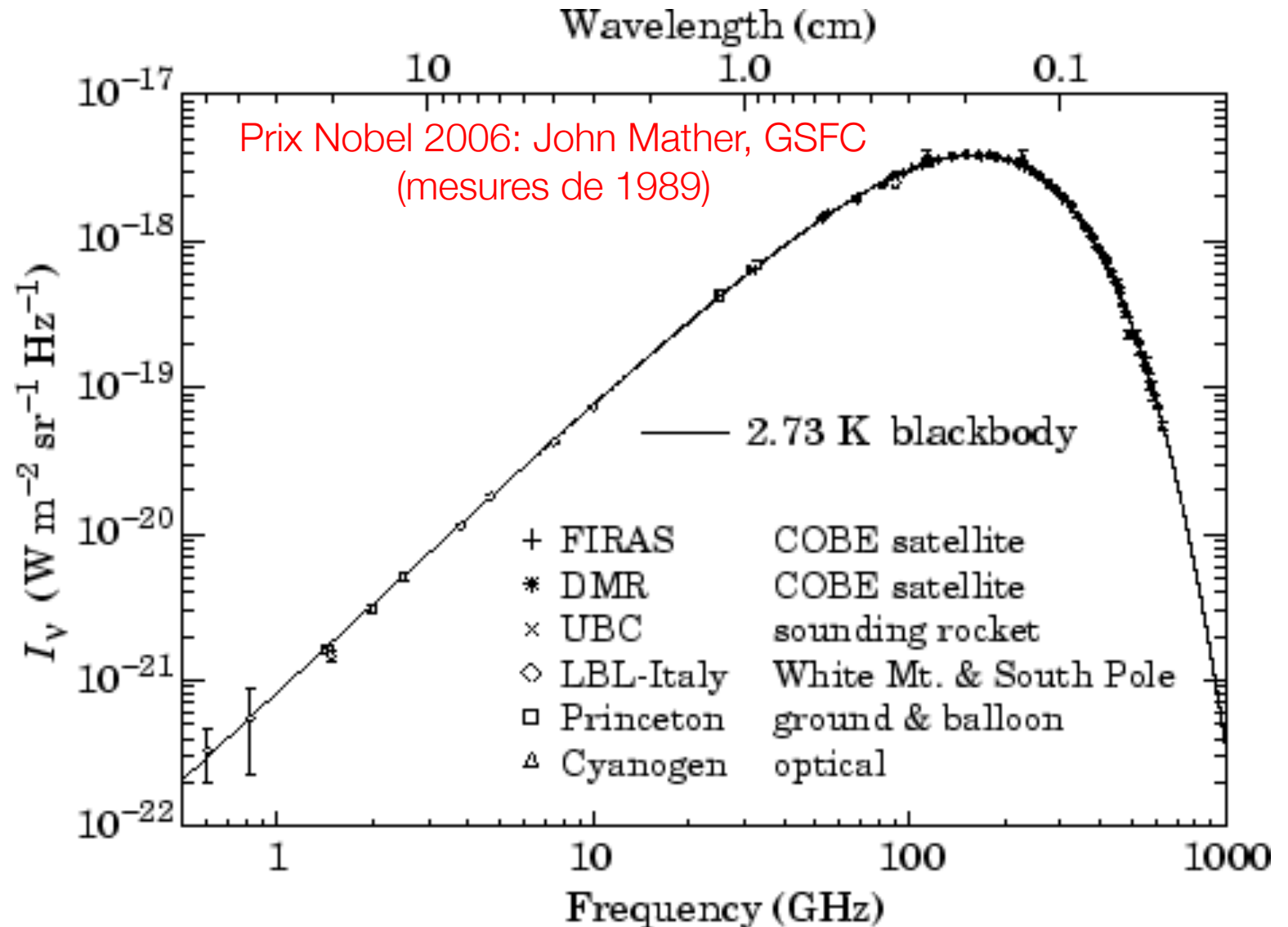


Hu & White, 2004

# le rayonnement de corps noir

corps noir  
 $T=2.725 \text{ K}$

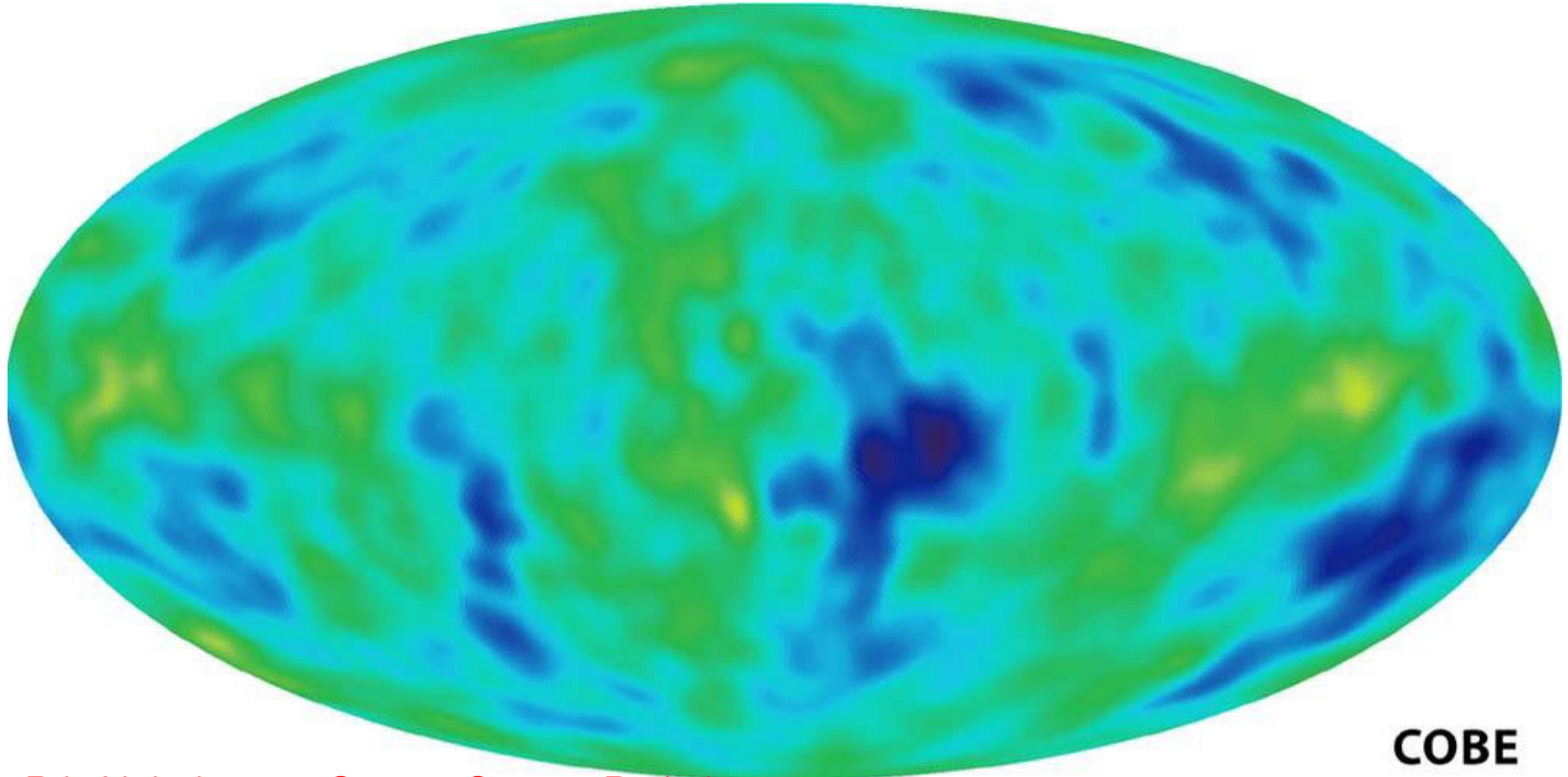
L'Univers est rempli de rayonnement: la nuit n'est pas noire, mais brillante en radio.



# fluctuations de température

---

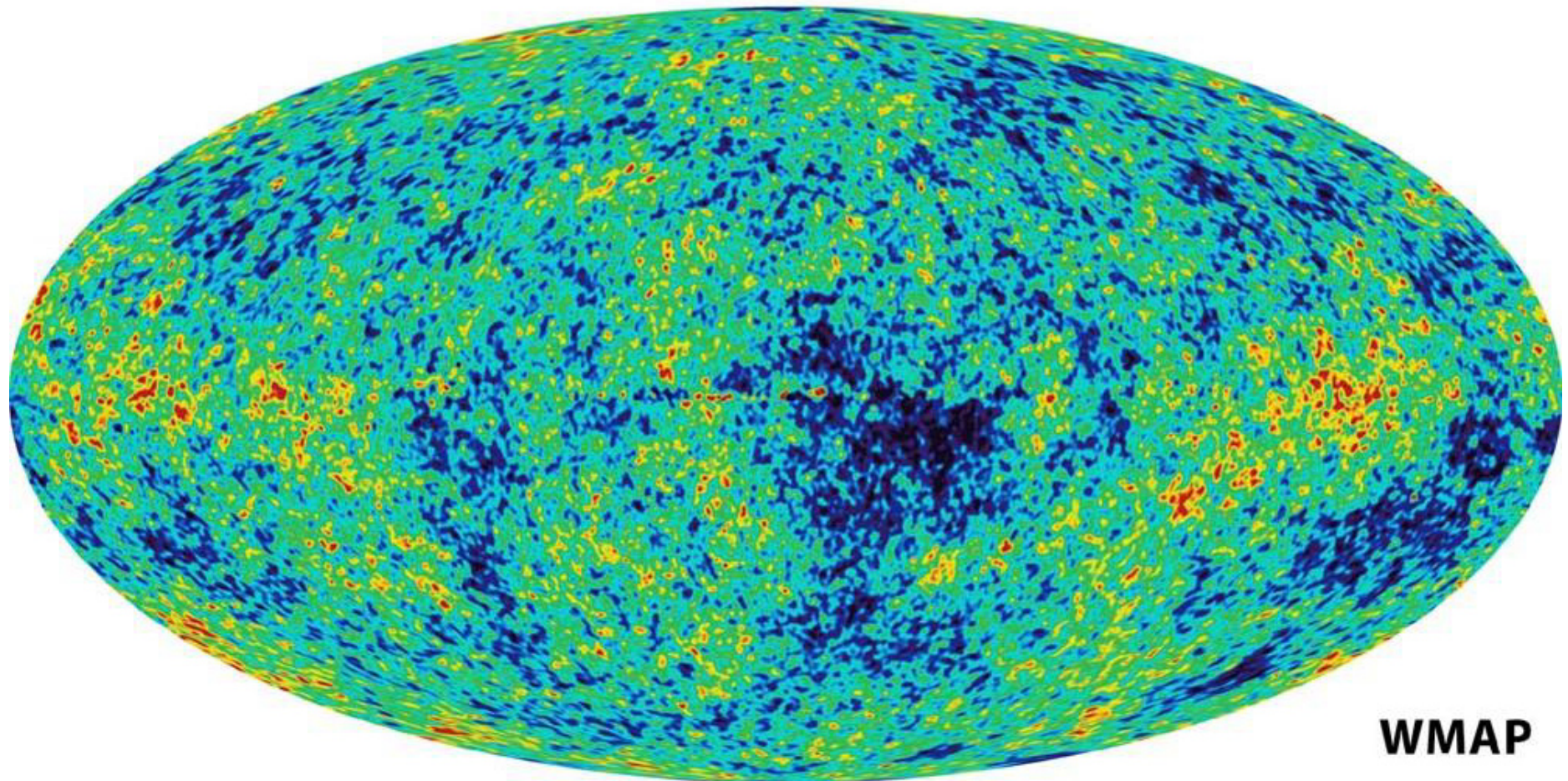
l'amplitude des fluctuations est de l'ordre de la dizaine de microKelvin !



Prix Nobel 2006: George Smoot, Berkeley  
(mesures de 1992)

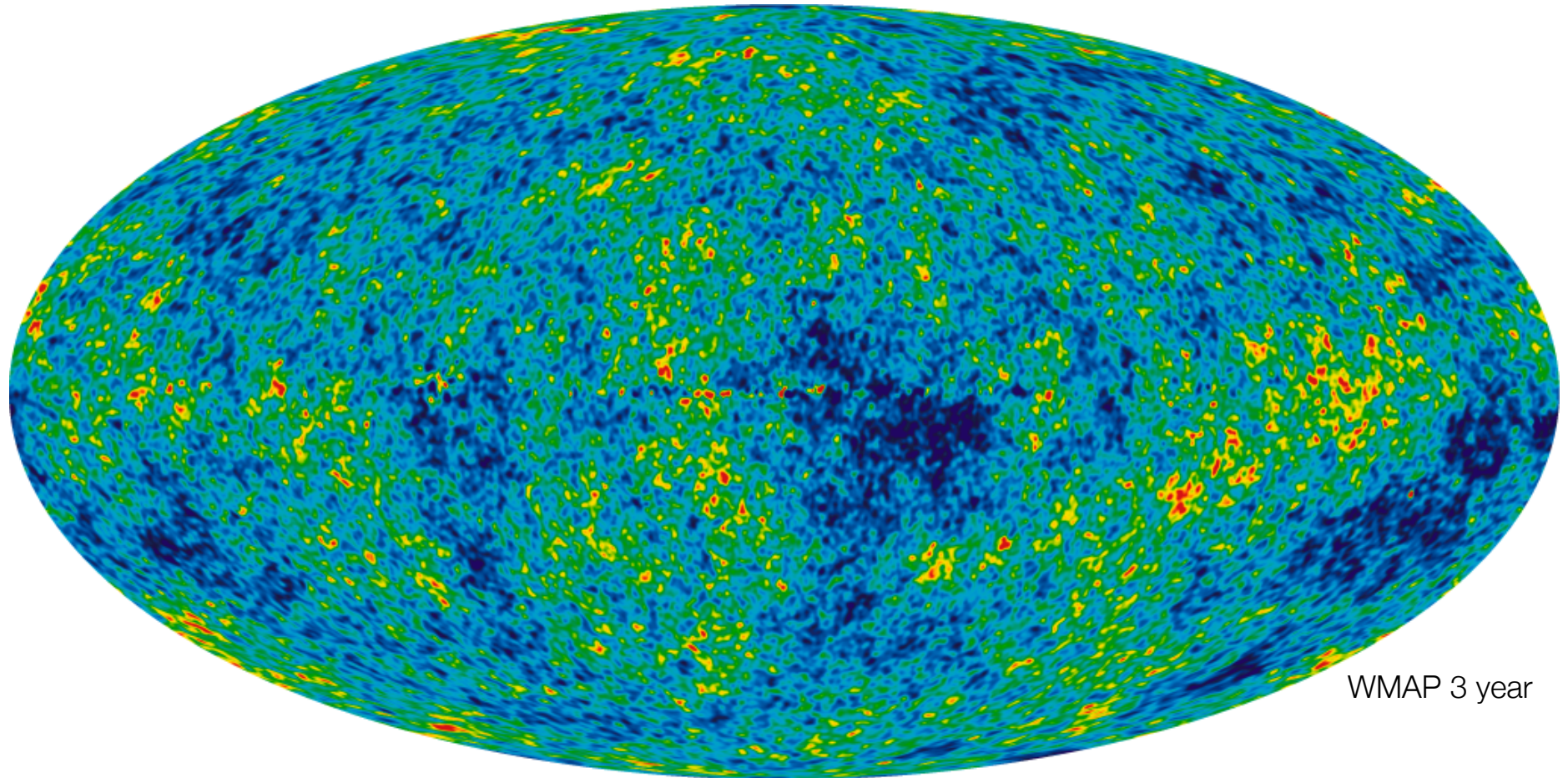
# fluctuations de température

---



# fluctuations de température

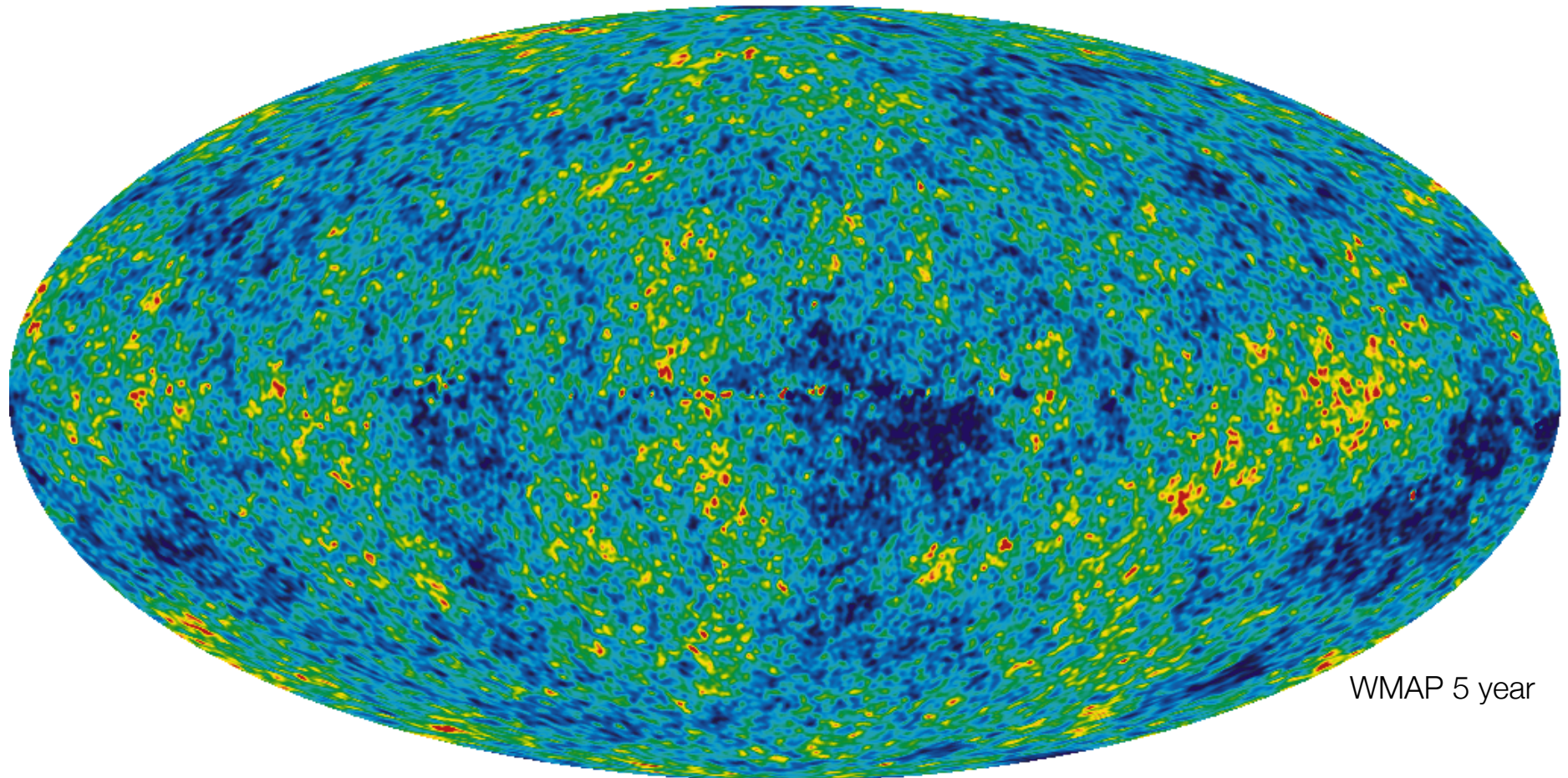
---



WMAP 3 year

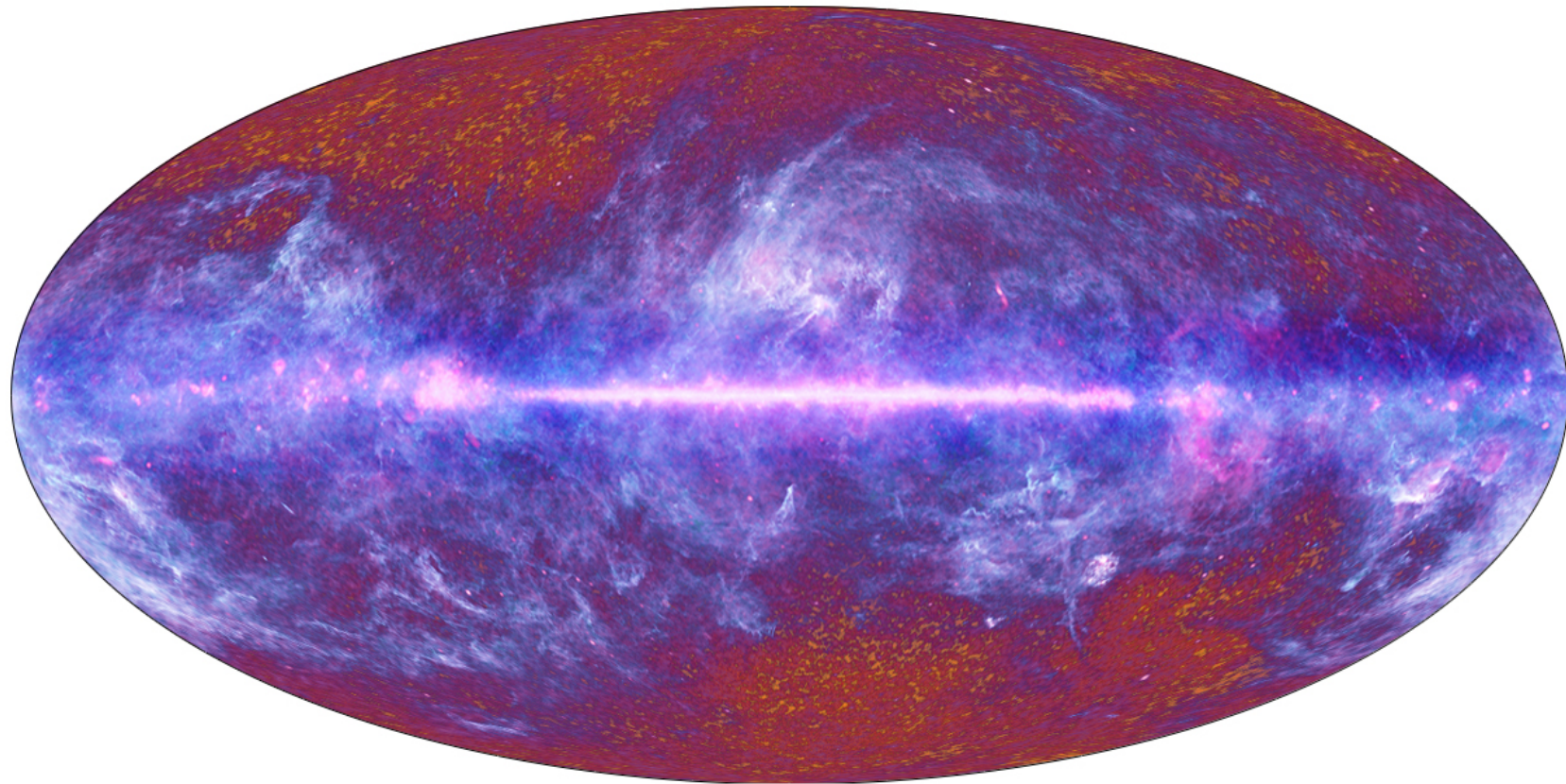
# fluctuations de température

---



# fluctuations de température

---



# l'Univers en chiffres – précis !

## Old Universe – *New* Numbers

$\Omega_{\text{tot}} = 1.02^{+0.02}_{-0.02}$	$n_s = 0.93^{+0.03}_{-0.03}$
$w < -0.78$ (95% CL)	$dn_s/d \ln k = -0.031^{+0.016}_{-0.018}$
$\Omega_{\Lambda} = 0.73^{+0.04}_{-0.04}$	$r < 0.71$ (95% CL)
$\Omega_b h^2 = 0.0224^{+0.0009}_{-0.0009}$	$z_{\text{dec}} = 1089^{+1}_{-1}$
$\Omega_b = 0.044^{+0.004}_{-0.004}$	$\Delta z_{\text{dec}} = 195^{+2}_{-2}$
$n_b = 2.5 \times 10^{-7+0.1 \times 10^{-7}}_{-0.1 \times 10^{-7}} \text{ cm}^{-3}$	$h = 0.71^{+0.04}_{-0.03}$
$\Omega_m h^2 = 0.135^{+0.008}_{-0.009}$	$t_0 = 13.7^{+0.2}_{-0.2} \text{ Gyr}$
$\Omega_m = 0.27^{+0.04}_{-0.04}$	$t_{\text{dec}} = 379^{+8}_{-7} \text{ kyr}$
$\Omega_{\nu} h^2 < 0.0076$ (95% CL)	$t_r = 180^{+220}_{-80} \text{ Myr}$ (95% CL)
$m_{\nu} < 0.23 \text{ eV}$ (95% CL)	$\Delta t_{\text{dec}} = 118^{+3}_{-2} \text{ kyr}$
$T_{\text{cmb}} = 2.725^{+0.002}_{-0.002} \text{ K}$	$z_{\text{eq}} = 3233^{+194}_{-210}$
$n_{\gamma} = 410.4^{+0.9}_{-0.9} \text{ cm}^{-3}$	$\tau = 0.17^{+0.04}_{-0.04}$
$\eta = 6.1 \times 10^{-10+0.3 \times 10^{-10}}_{-0.2 \times 10^{-10}}$	$z_r = 20^{+10}_{-9}$ (95% CL)
$\Omega_b \Omega_m^{-1} = 0.17^{+0.01}_{-0.01}$	$\theta = 0.598^{+0.002}_{-0.002}$
$\sigma_8 = 0.84^{+0.04}_{-0.04} \text{ Mpc}$	$d_A = 14.0^{+0.2}_{-0.3} \text{ Gpc}$
$\sigma_8 \Omega_m^{0.5} = 0.44^{+0.04}_{-0.05}$	$l_A = 301^{+1}_{-1}$
$A = 0.833^{+0.086}_{-0.083}$	$r_s = 147^{+2}_{-2} \text{ Mpc}$



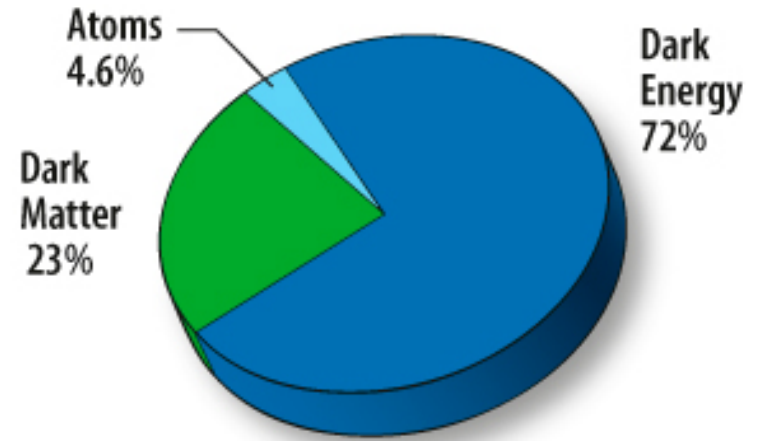
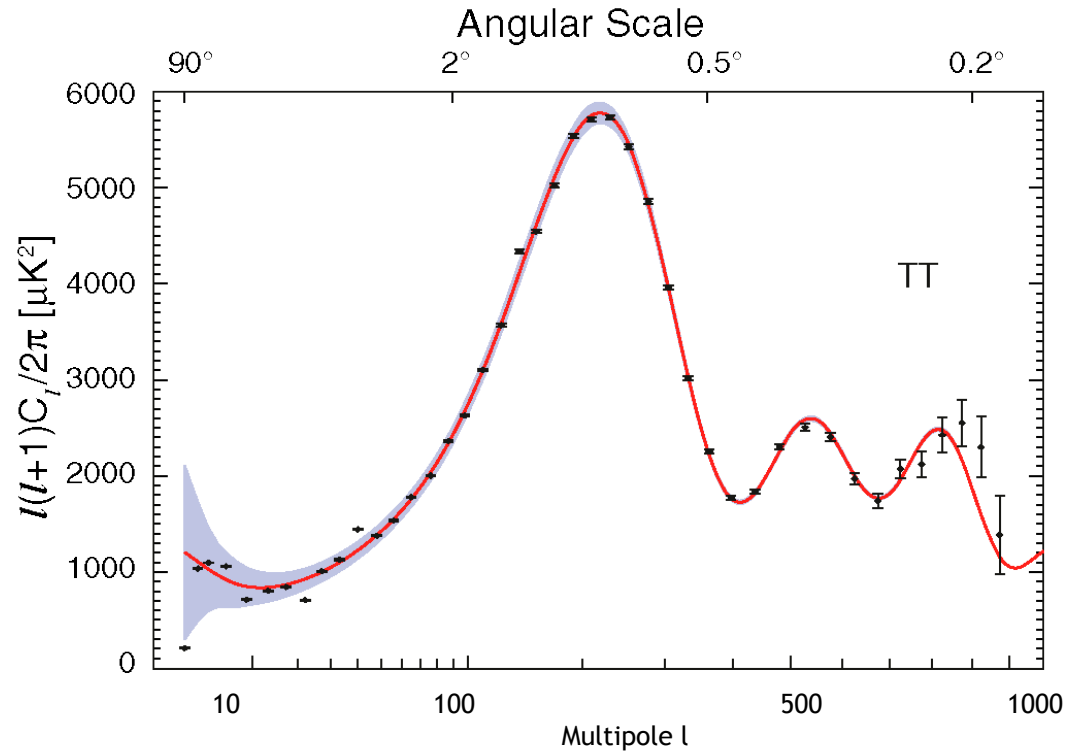
# l'Univers en chiffres – précis !

## Old Universe – *New* Numbers

$\Omega_{\text{tot}} = 1.02^{+0.02}_{-0.02}$	quelques % !	$n_s = 0.93^{+0.03}_{-0.03}$
$w < -0.78$ (95% CL)		$dn_s/d \ln k = -0.031^{+0.016}_{-0.018}$
$\Omega_{\Lambda} = 0.73^{+0.04}_{-0.04}$		$r < 0.71$ (95% CL)
$\Omega_b h^2 = 0.0224^{+0.0009}_{-0.0009}$		$z_{\text{dec}} = 1089^{+1}_{-1}$
$\Omega_b = 0.044^{+0.004}_{-0.004}$		$\Delta z_{\text{dec}} = 195^{+2}_{-2}$
$n_b = 2.5 \times 10^{-7+0.1 \times 10^{-7}}_{-0.1 \times 10^{-7}} \text{ cm}^{-3}$		$h = 0.71^{+0.04}_{-0.03}$
$\Omega_m h^2 = 0.135^{+0.008}_{-0.009}$		$t_0 = 13.7^{+0.2}_{-0.2} \text{ Gyr}$
$\Omega_m = 0.27^{+0.04}_{-0.04}$		$t_{\text{dec}} = 379^{+8}_{-7} \text{ kyr}$
$\Omega_{\nu} h^2 < 0.0076$ (95% CL)		$t_r = 180^{+220}_{-80} \text{ Myr}$ (95% CL)
$m_{\nu} < 0.23 \text{ eV}$ (95% CL)		$\Delta t_{\text{dec}} = 118^{+3}_{-2} \text{ kyr}$
$T_{\text{cmb}} = 2.725^{+0.002}_{-0.002} \text{ K}$		$z_{\text{eq}} = 3233^{+194}_{-210}$
$n_{\gamma} = 410.4^{+0.9}_{-0.9} \text{ cm}^{-3}$		$\tau = 0.17^{+0.04}_{-0.04}$
$\eta = 6.1 \times 10^{-10+0.3 \times 10^{-10}}_{-0.2 \times 10^{-10}}$		$z_r = 20^{+10}_{-9}$ (95% CL)
$\Omega_b \Omega_m^{-1} = 0.17^{+0.01}_{-0.01}$		$\theta = 0.598^{+0.002}_{-0.002}$
$\sigma_8 = 0.84^{+0.04}_{-0.04} \text{ Mpc}$		$d_A = 14.0^{+0.2}_{-0.3} \text{ Gpc}$
$\sigma_8 \Omega_m^{0.5} = 0.44^{+0.04}_{-0.05}$		$l_A = 301^{+1}_{-1}$
$A = 0.833^{+0.086}_{-0.083}$		$r_s = 147^{+2}_{-2} \text{ Mpc}$

quelques % !

# contenu de l'Univers



WMAP Web Site

Multipole moment  $l$

(Universe 13.8 billion years old)

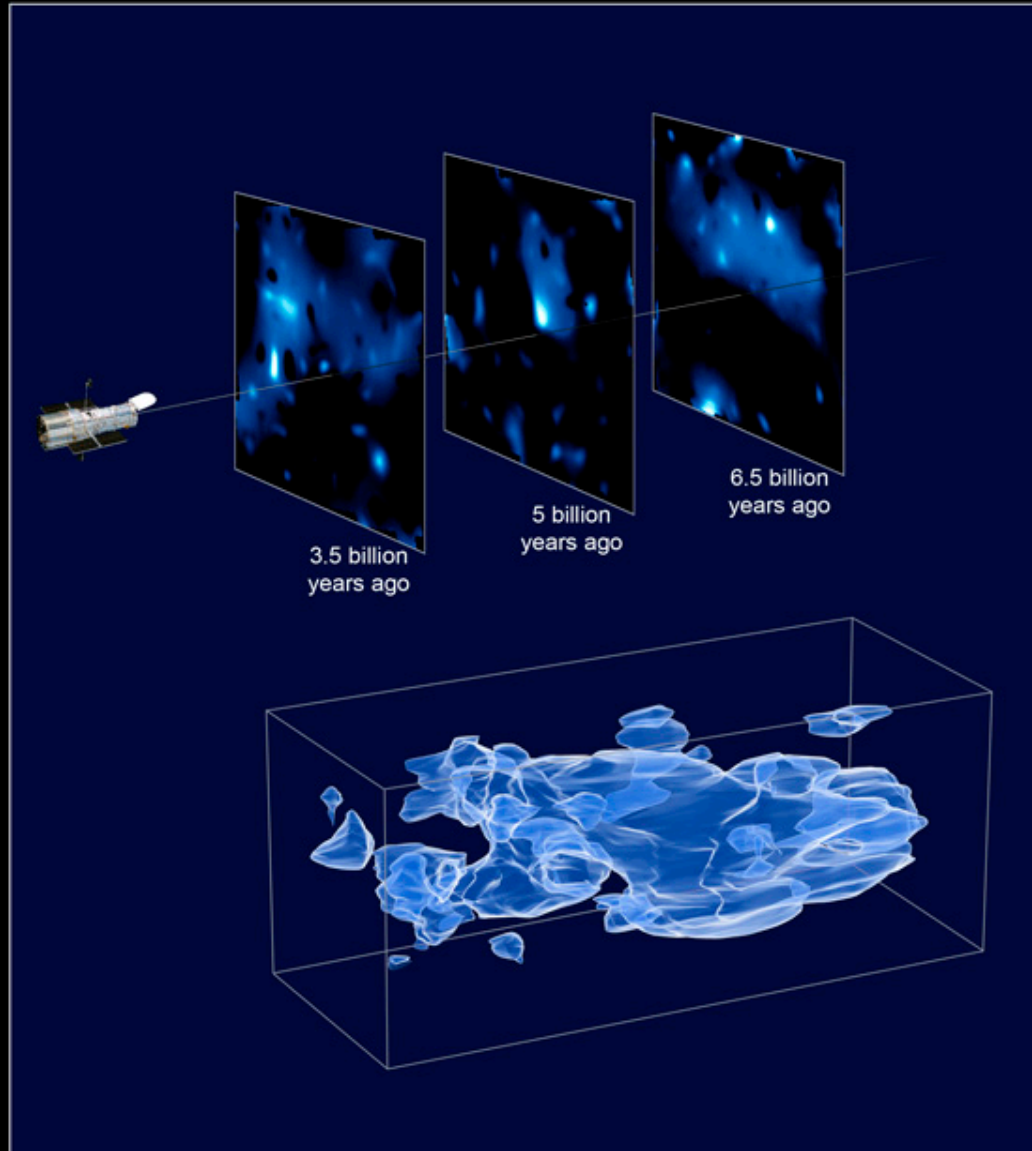
---

# matière noire

---

# Distribution of Dark Matter

HST ■ ACS/WFC



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

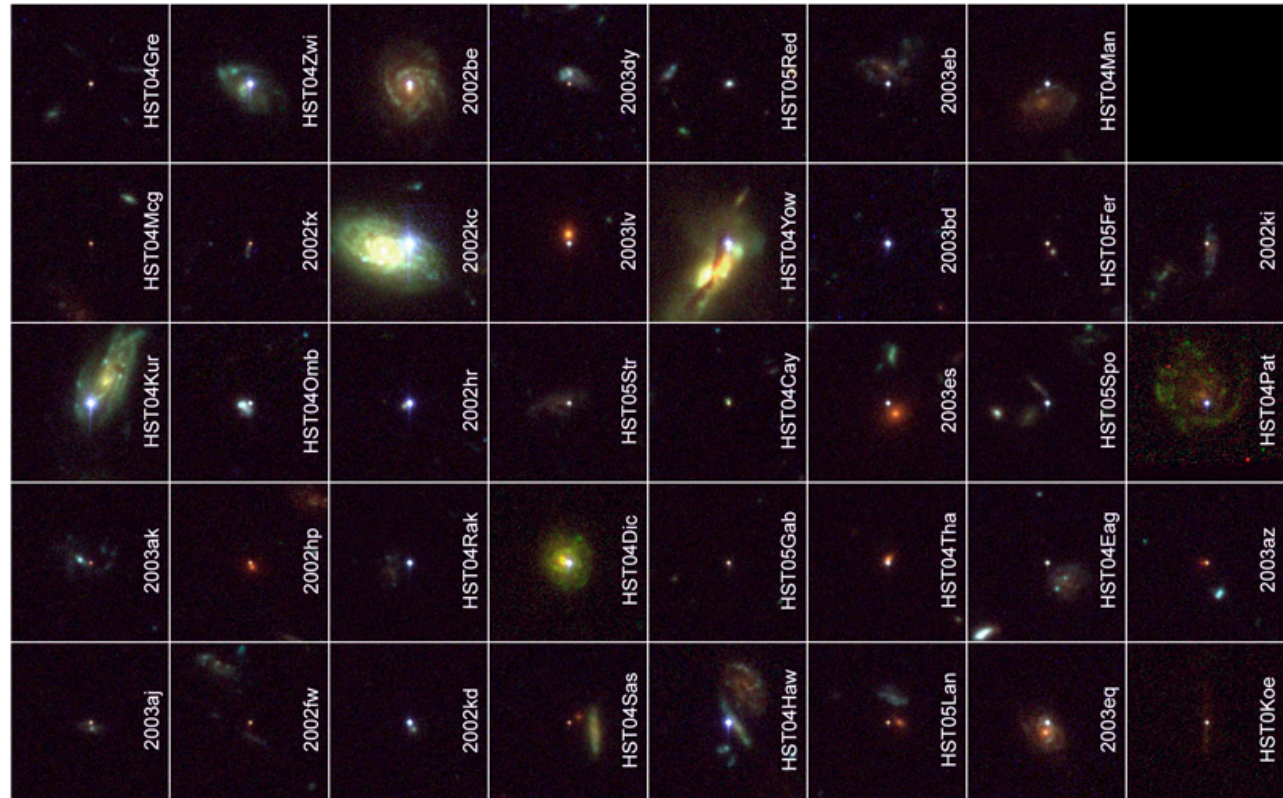
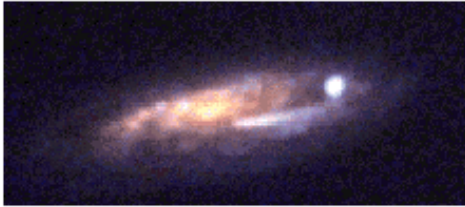
STScI-PRC07-01a

---

# expansion accélérée de l'Univers

---

# mesures de supernovae lointaines



analyse des mesures de supernovae cohérente avec les mesures du fond cosmologique

Riess et al., HST NASA

---

# conclusion

---

# 20 ans de progrès des observations

---

- proviennent du développement des **télescopes** au **sol** et dans l'**espace**
- mais aussi des avancées technologiques des **détecteurs** et de la **puissance de calcul** pour le traitement/archivage/diffusion des données et les simulations
- l'astrophysique est tantôt moteur, tantôt bénéficiaire
- ces progrès continuent !

Résultats marquants:

- découverte des **exoplanètes** et caractérisation (plus de 400)
- mesure fine du **rayonnement cosmologique**
- découverte de l'**expansion accélérée** de l'Univers

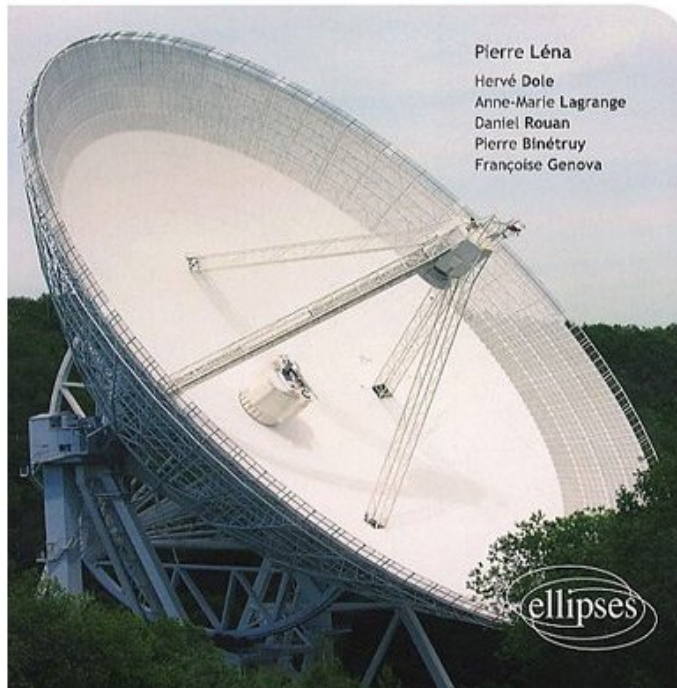


---

fin !

---

## L'observation en astronomie



<http://www.planck.fr>

<http://www.ias.u-psud.fr/dole>