



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



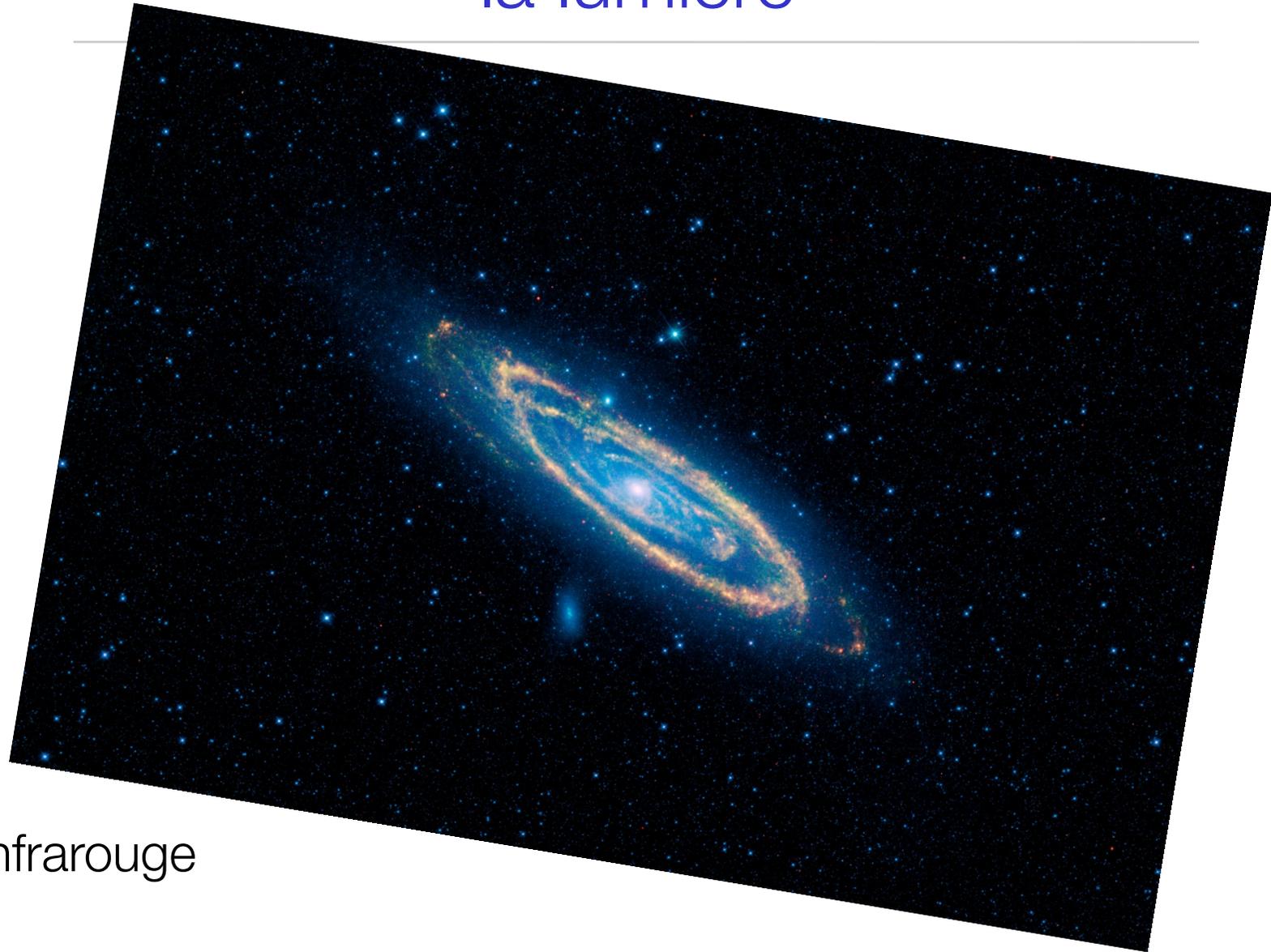
visible

la lumière



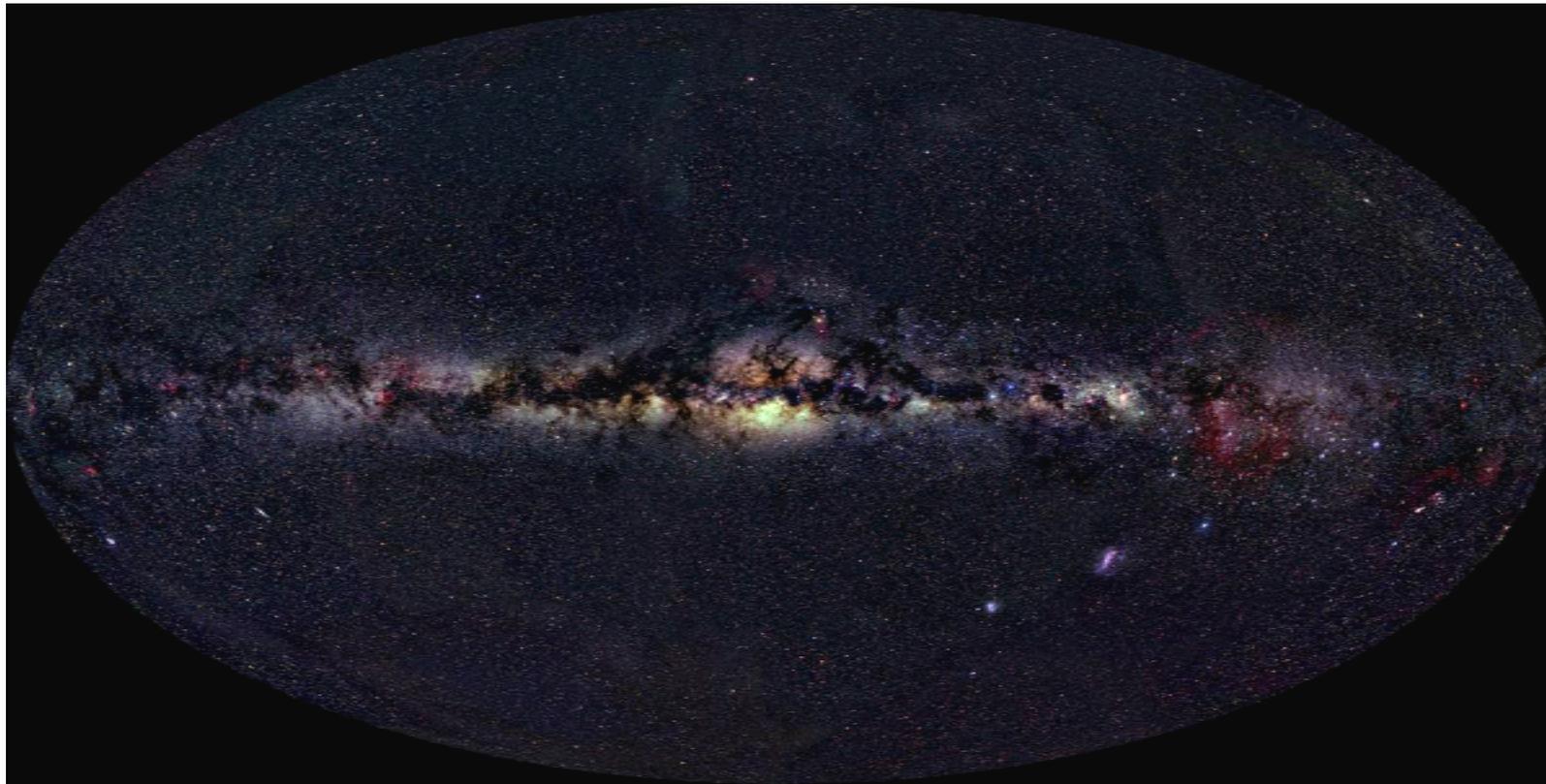
ultraviolet

la lumière

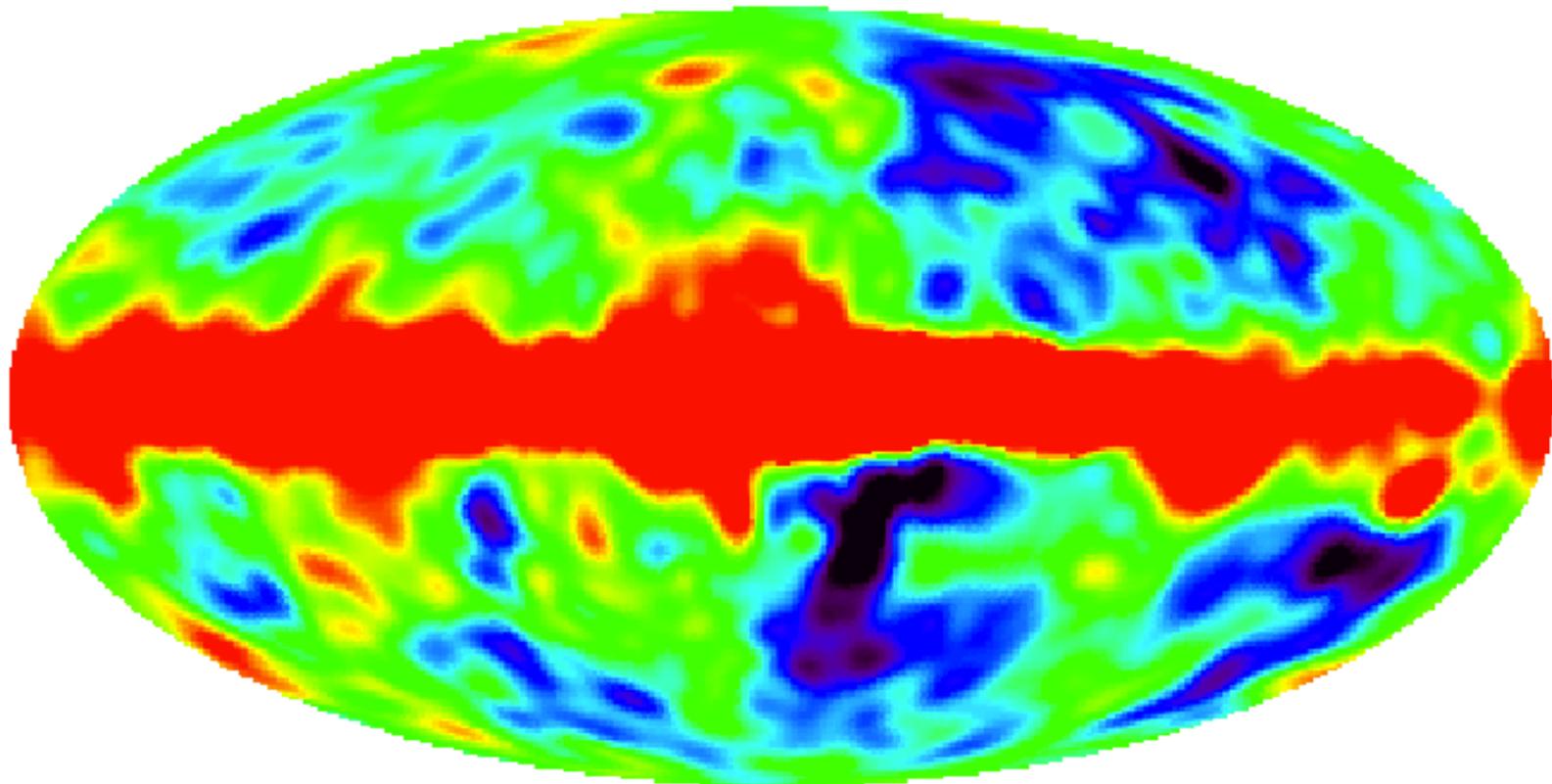


infrarouge

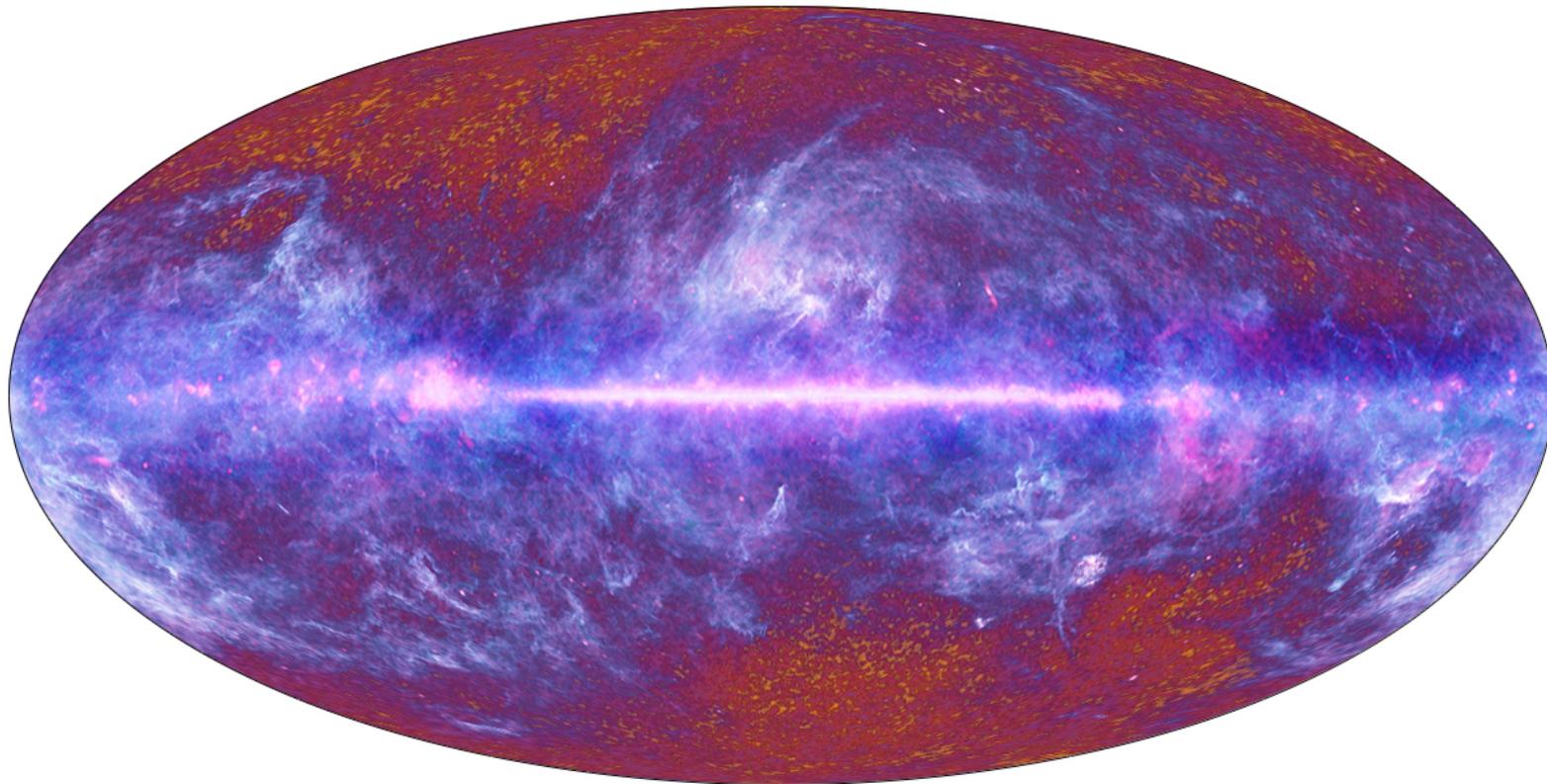
illustration des progrès: 2 exemples



1. le ciel radio en 1992 ...



... et en 2010

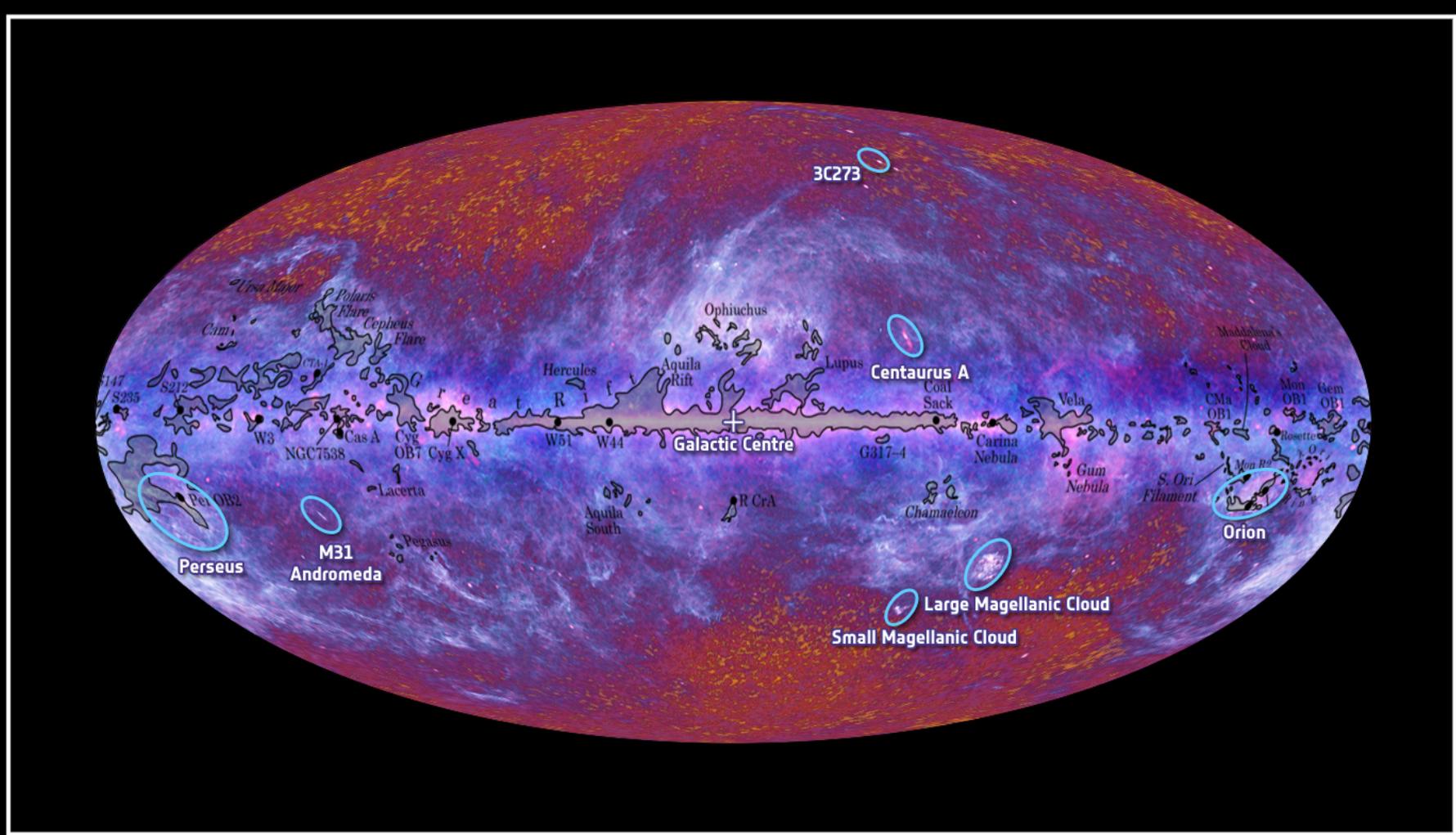


The PLANCK one-year all-sky survey



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

... et en 2010



The PLANCK one-year all-sky survey

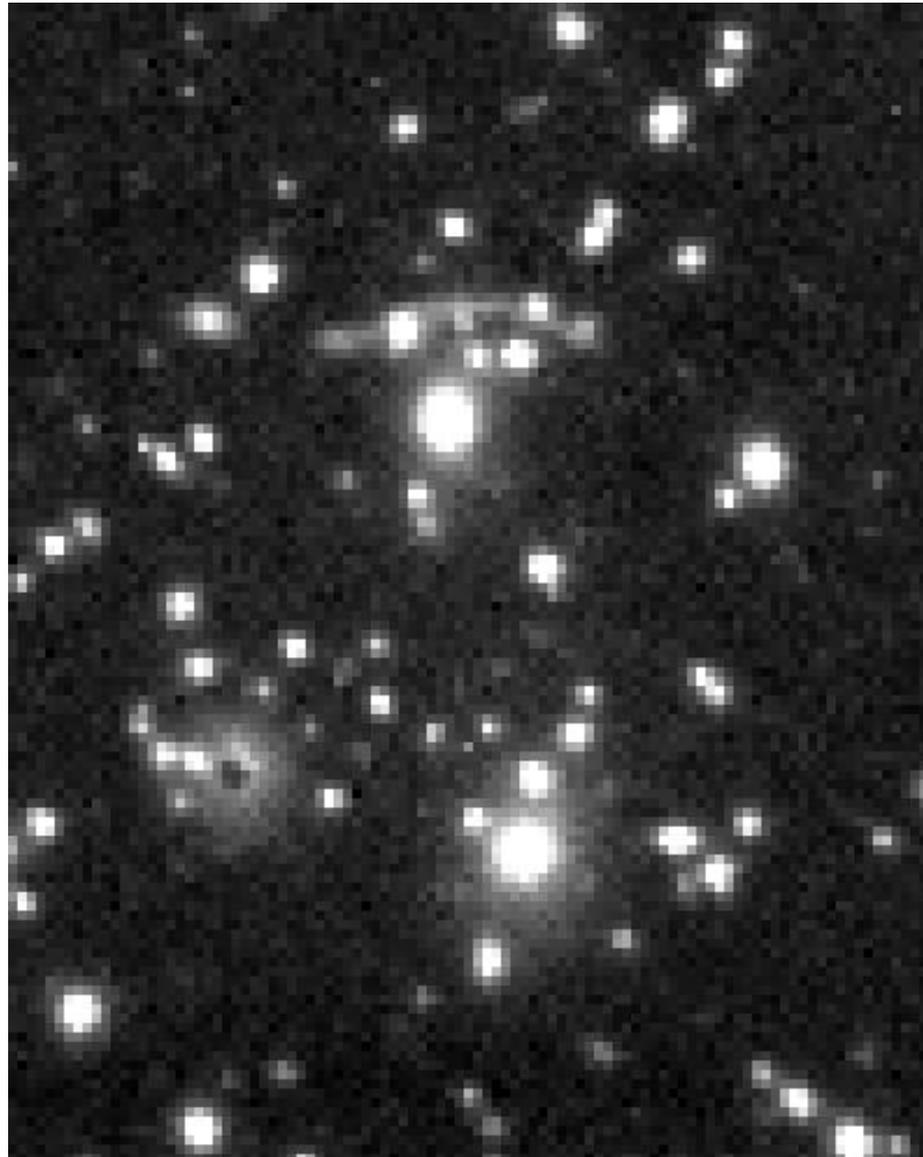


(c) ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

2. amas de galaxies en 1985...

en 1985

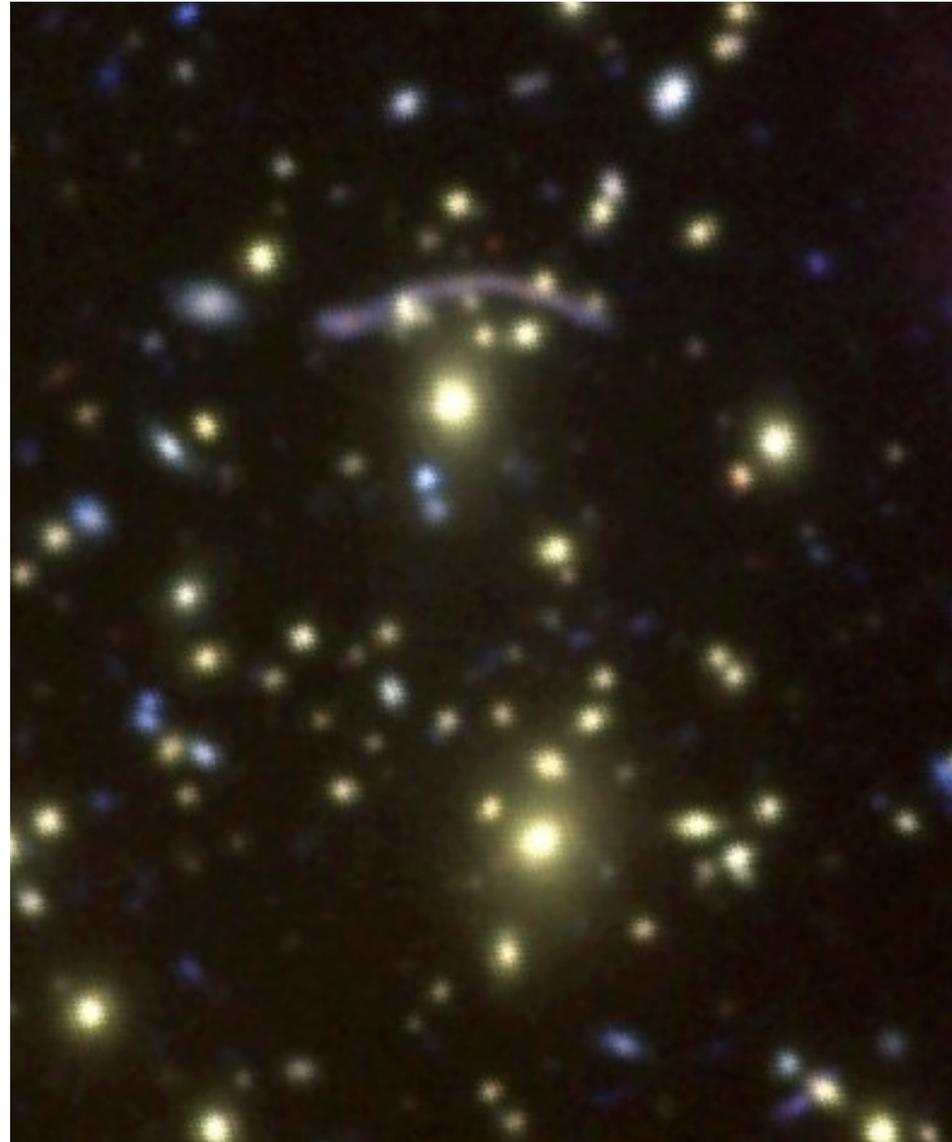
télescope
CFHT
Hawai'i



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

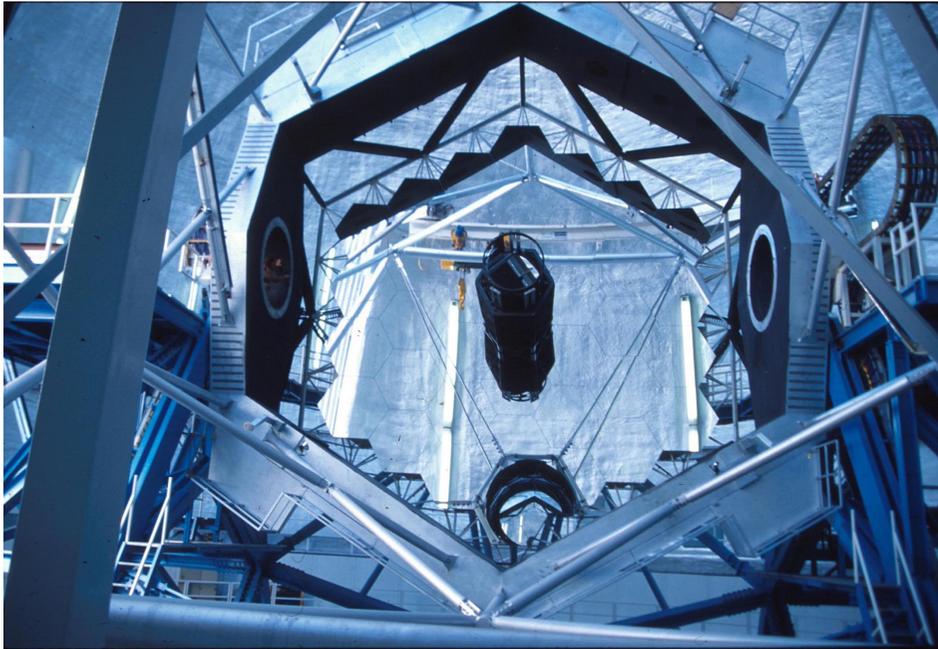


NTT, ESO, Chili, 3.60m



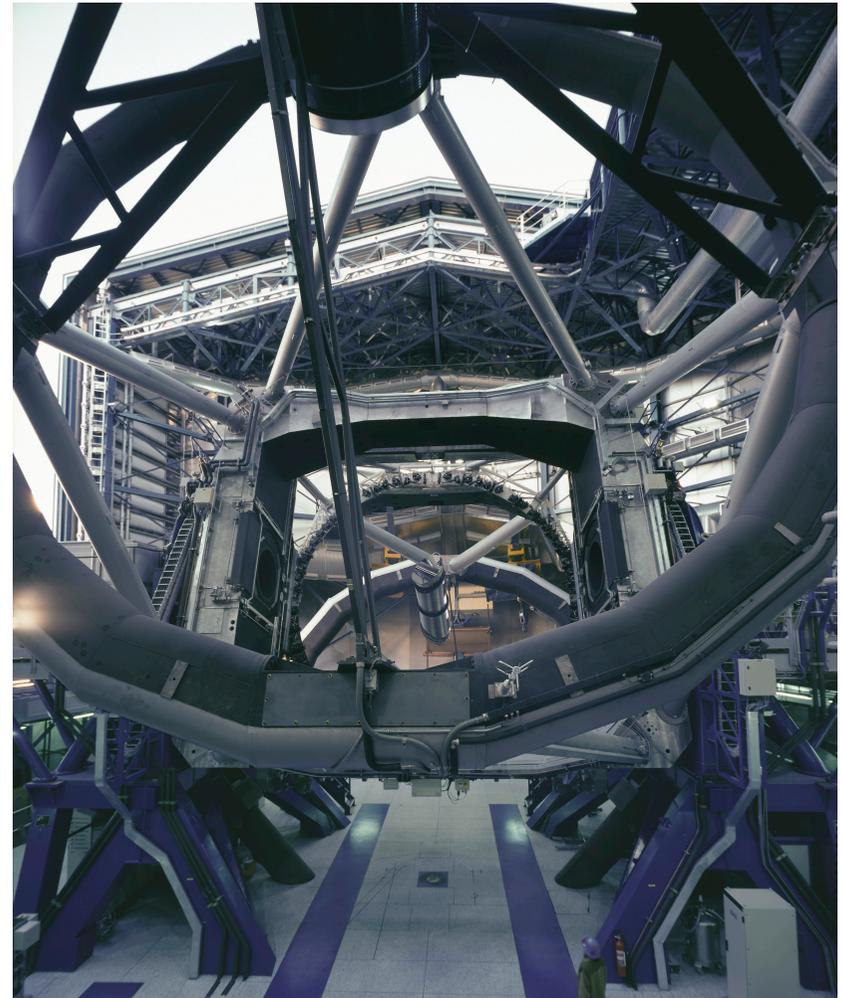
CFHT, Hawai'i 3.60m

« 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

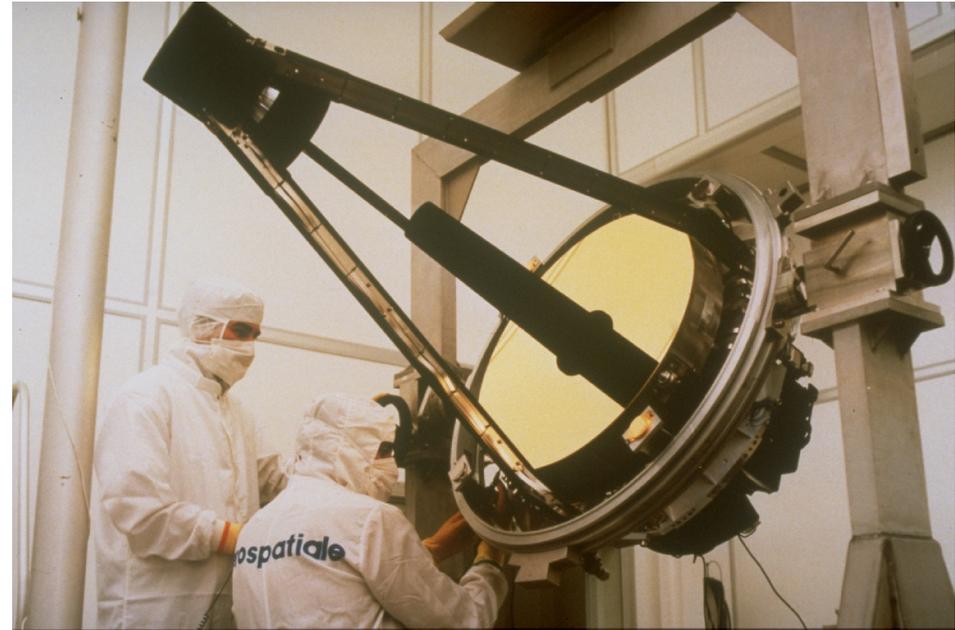
télescopes dans l'espace



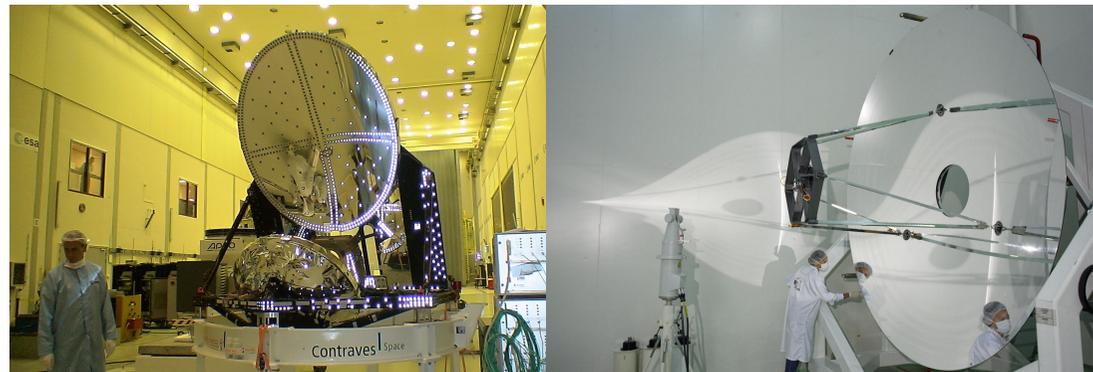
télescopes dans l'espace: petits !



Spitzer: 85 cm lancé en 2003



ISO: 60 cm lancé en 1995



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

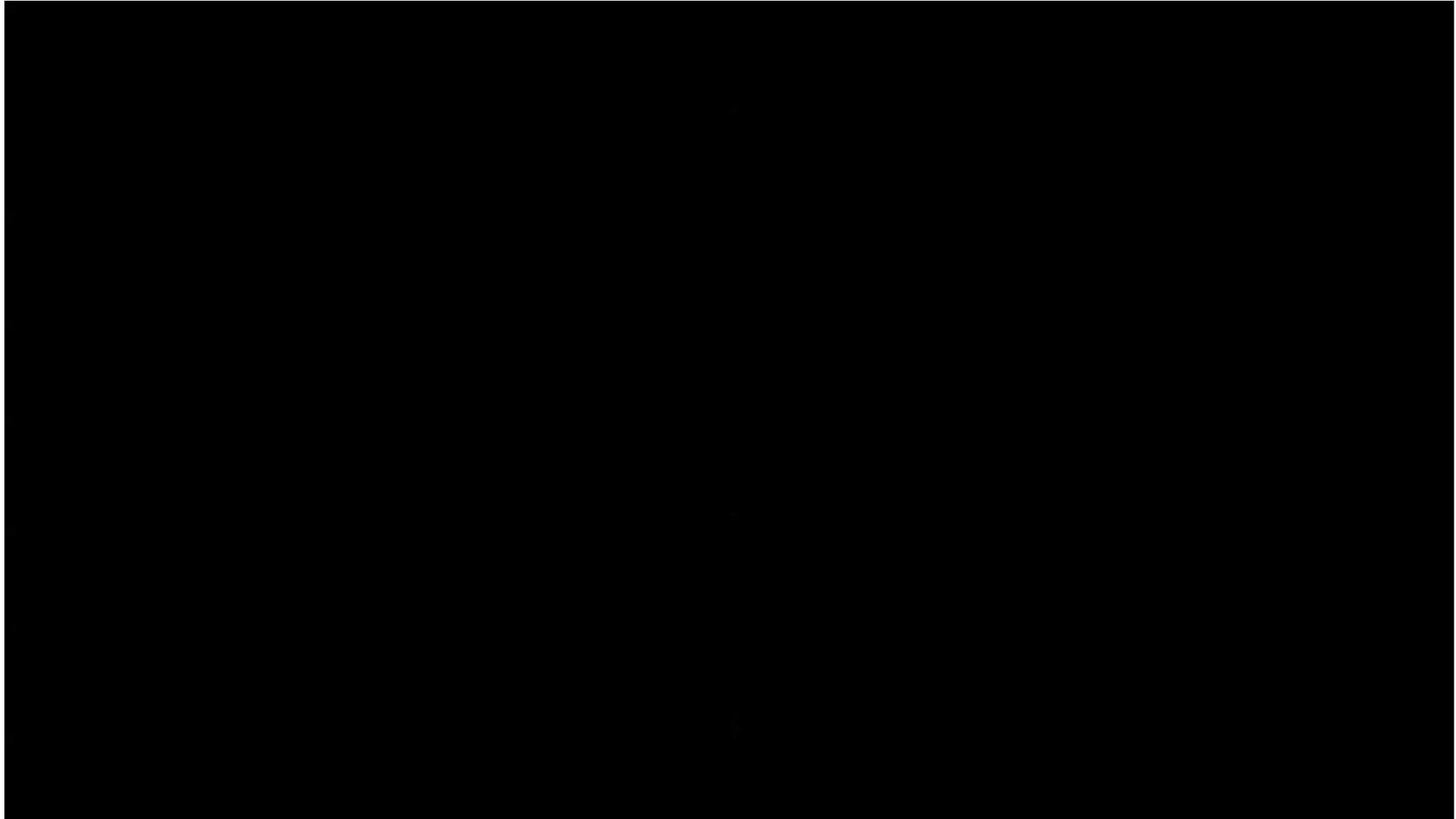
télescopes dans l'espace: petits !



Hubble: 2.40m lancé en 1990

bientôt: **JWST** avec 6.5m

15 à 20 ans de projet...

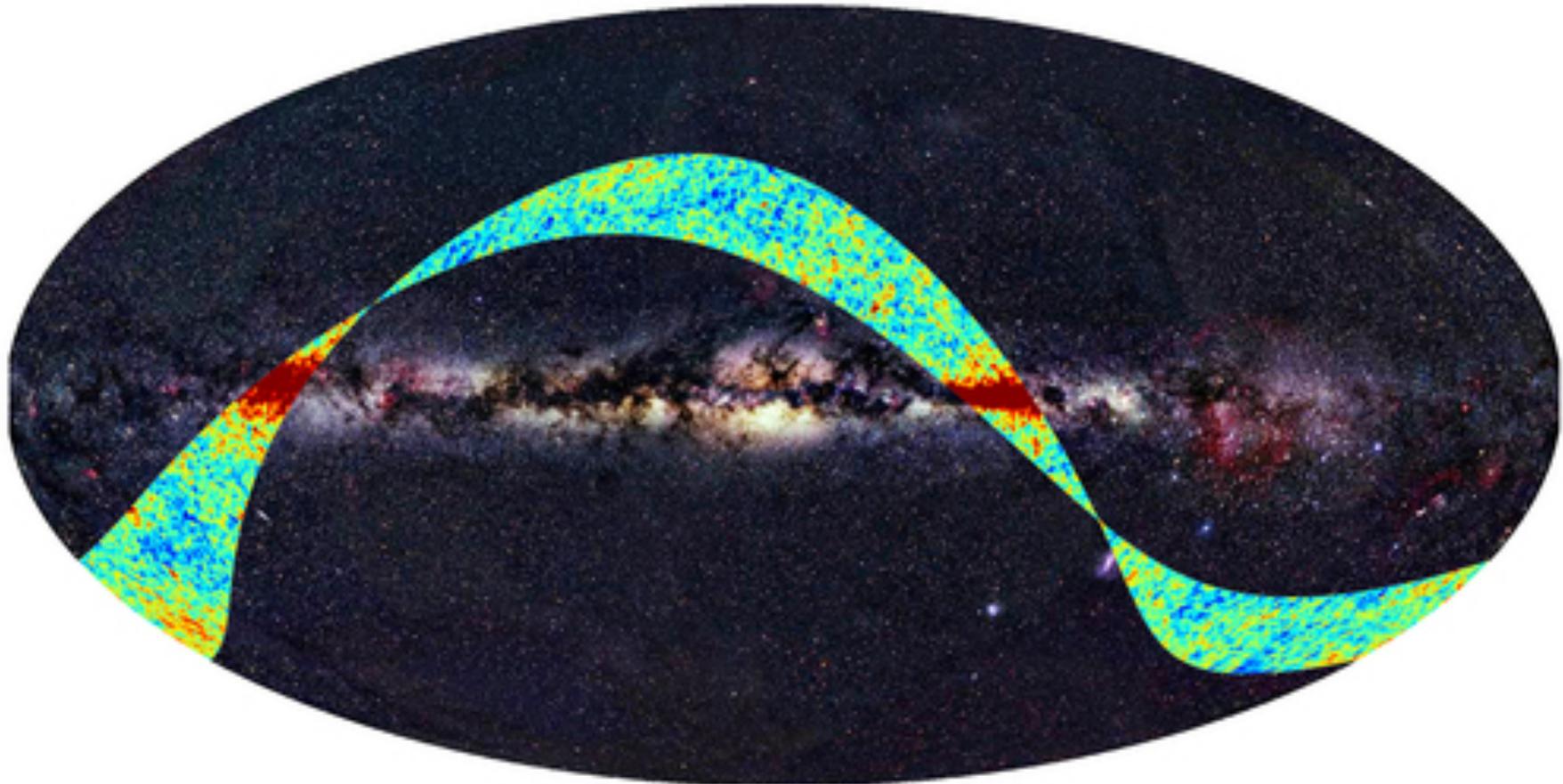


opérations quotidiennes Planck à Orsay



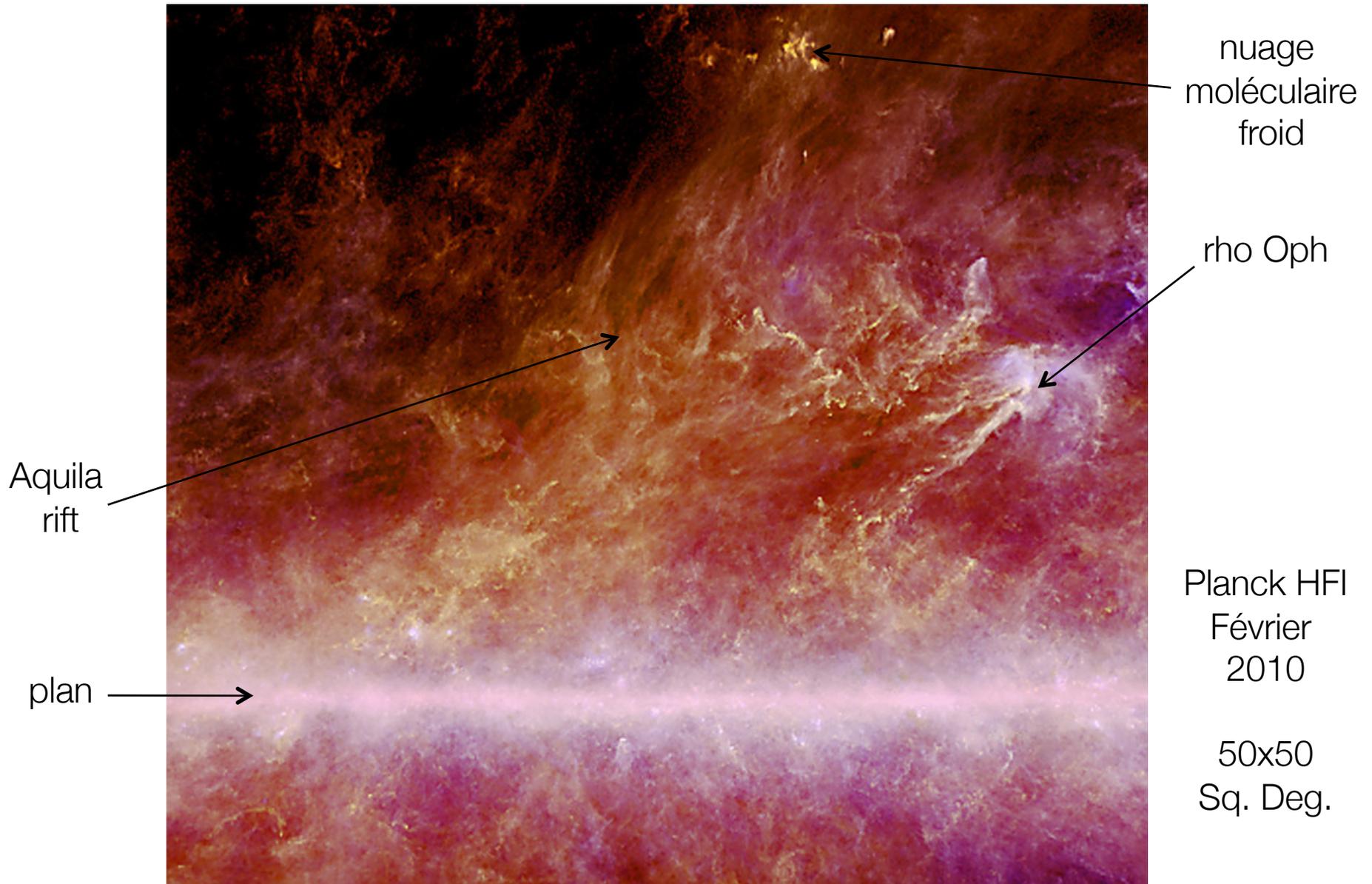
Planck HFI – Instrument Operation Room – Institut d’Astrophysique Spatiale

premières images publiques de Planck



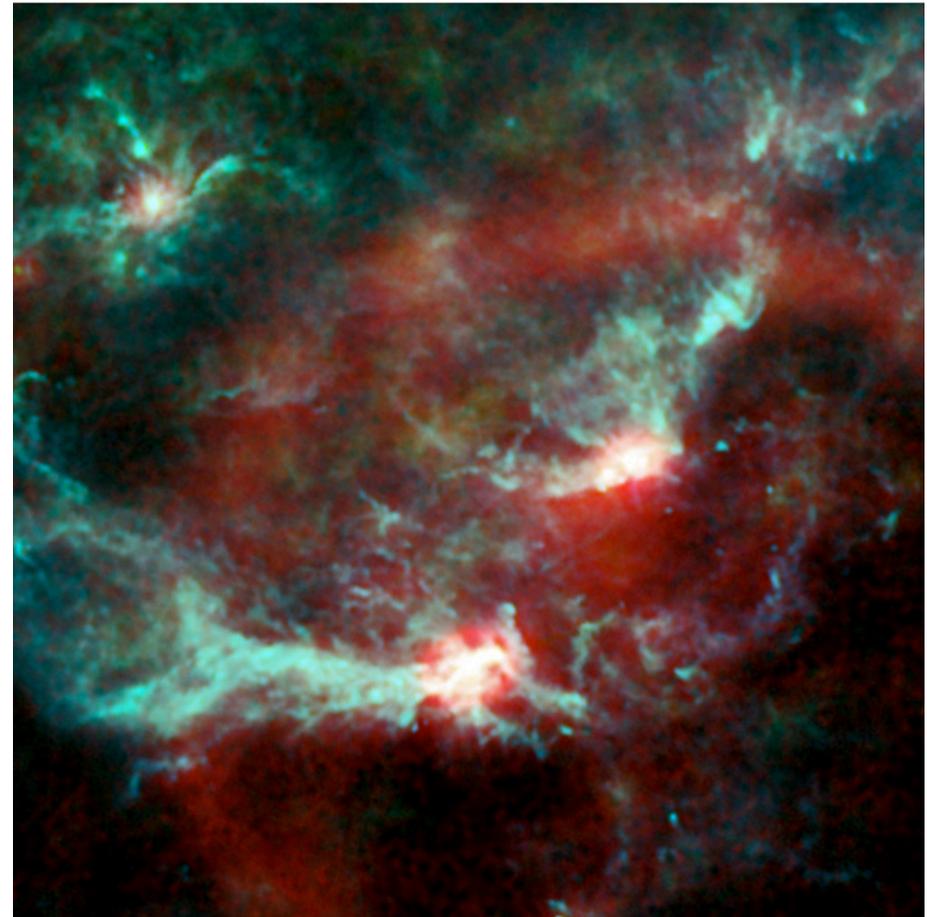
Planck First Light Survey – Septembre 2009

premières images publiques de Planck



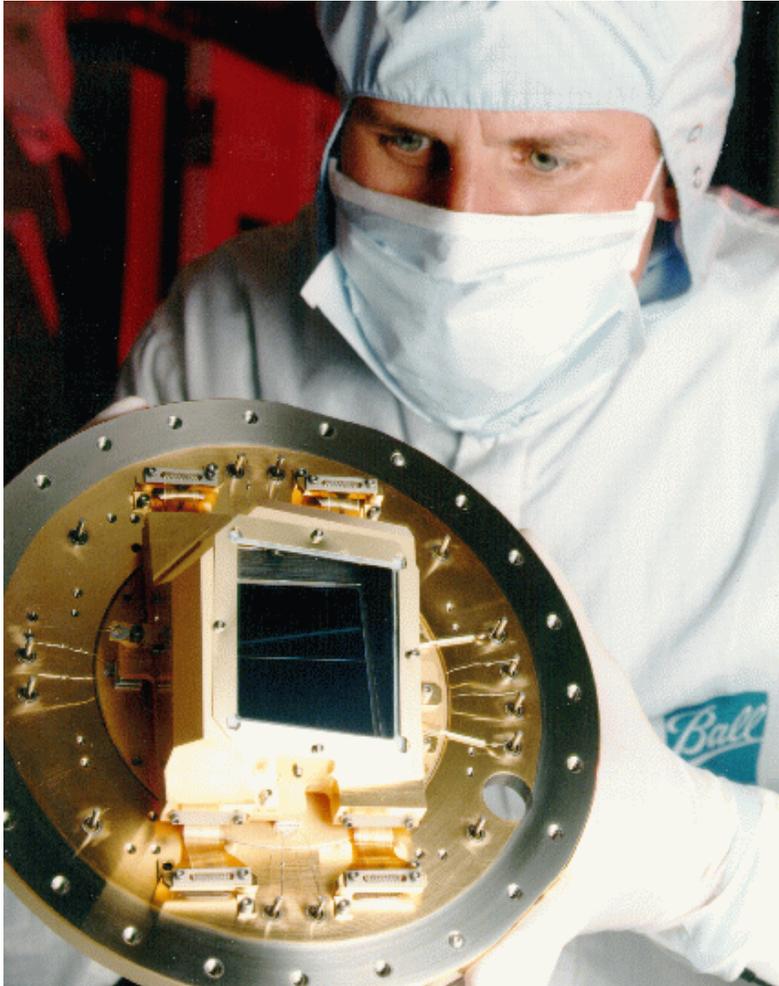
premières images publiques de Planck

Planck HFI - Mars 2010 - Orion

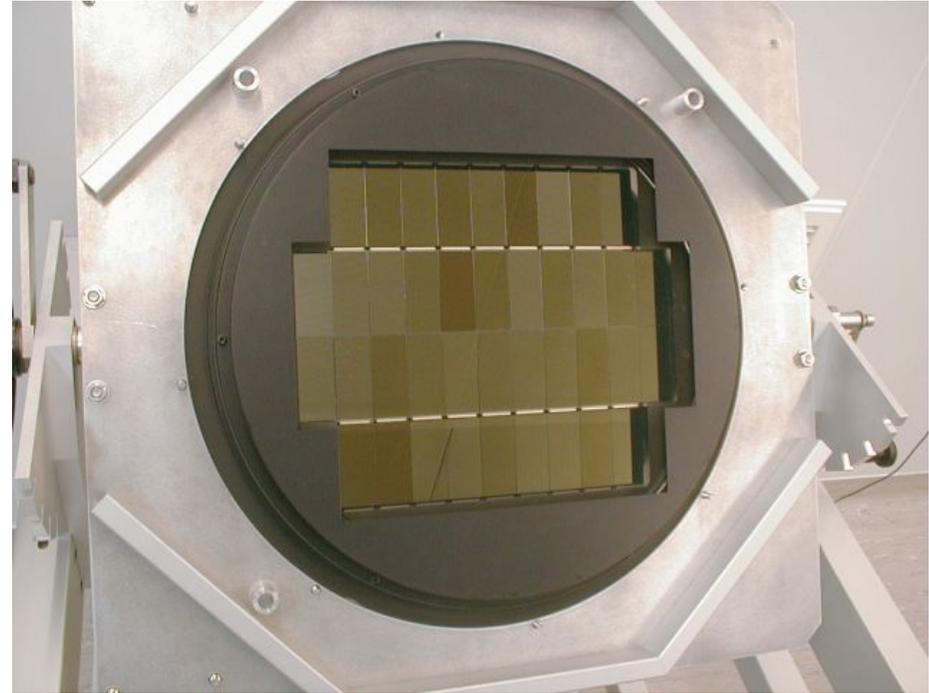


détecteurs

taille des détecteurs

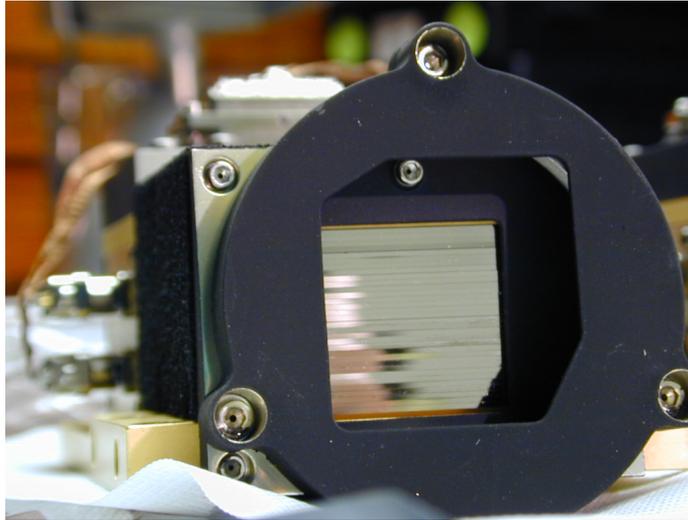


ACS – Ball - NASA

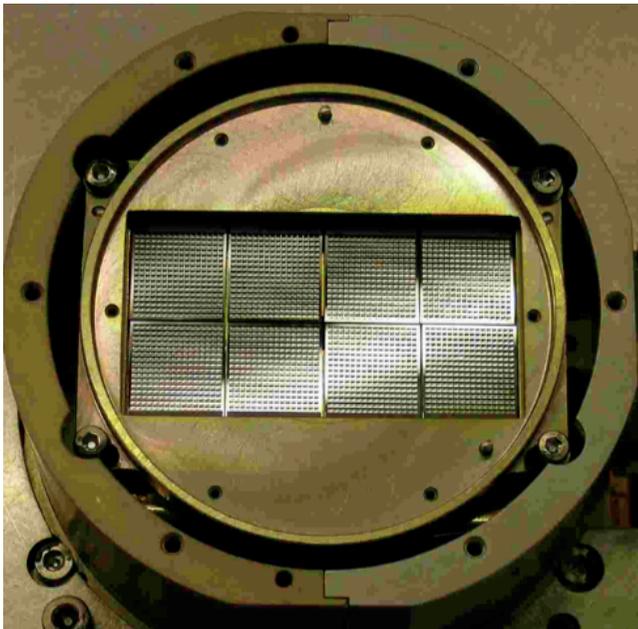


MegaCam
340 millions pixels
CEA

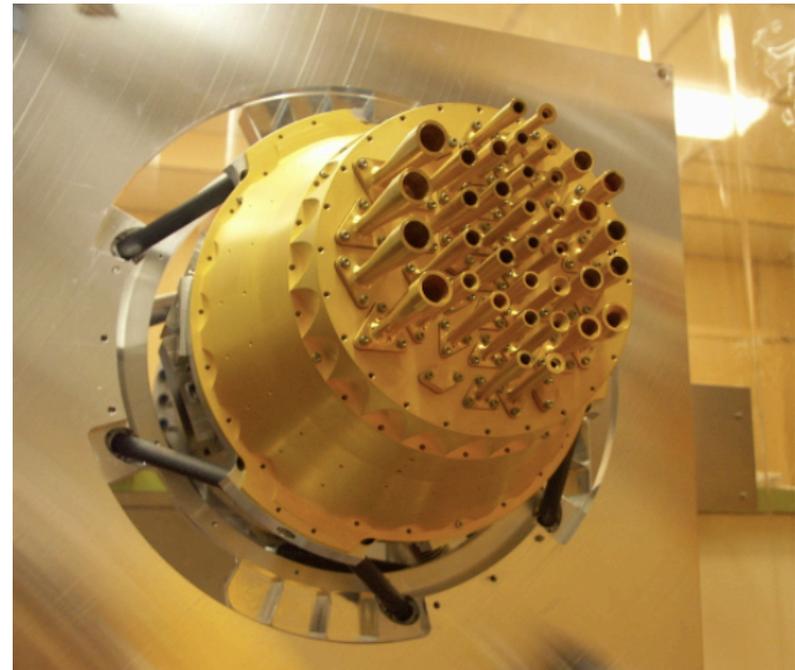
types de détecteurs



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

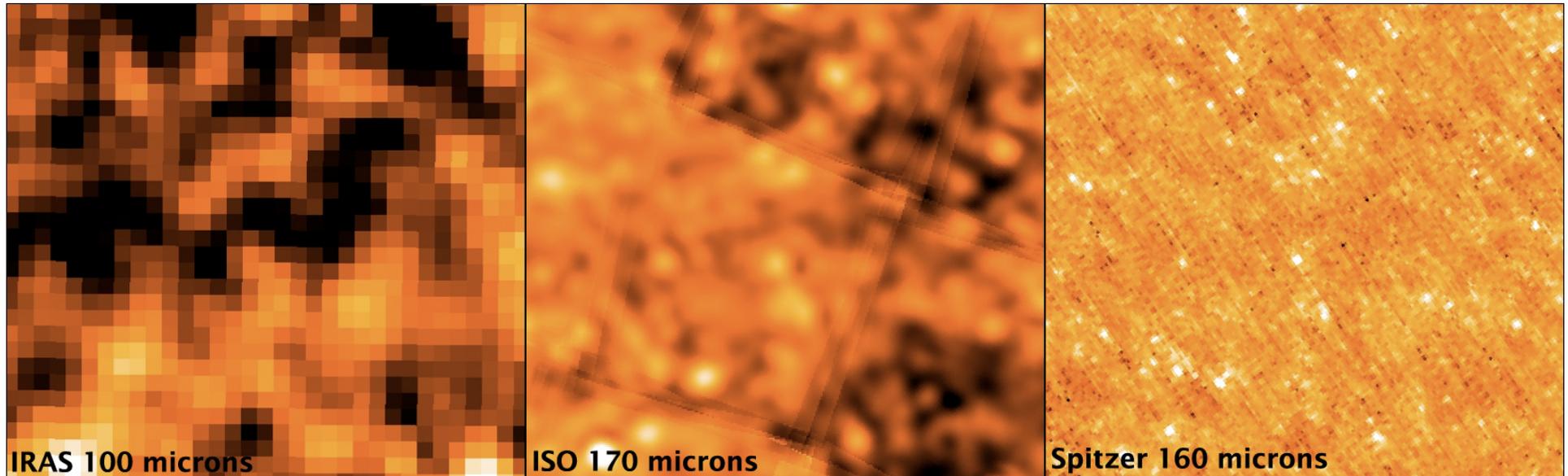


PACS
Herschel
CEA



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

gain en résolution angulaire

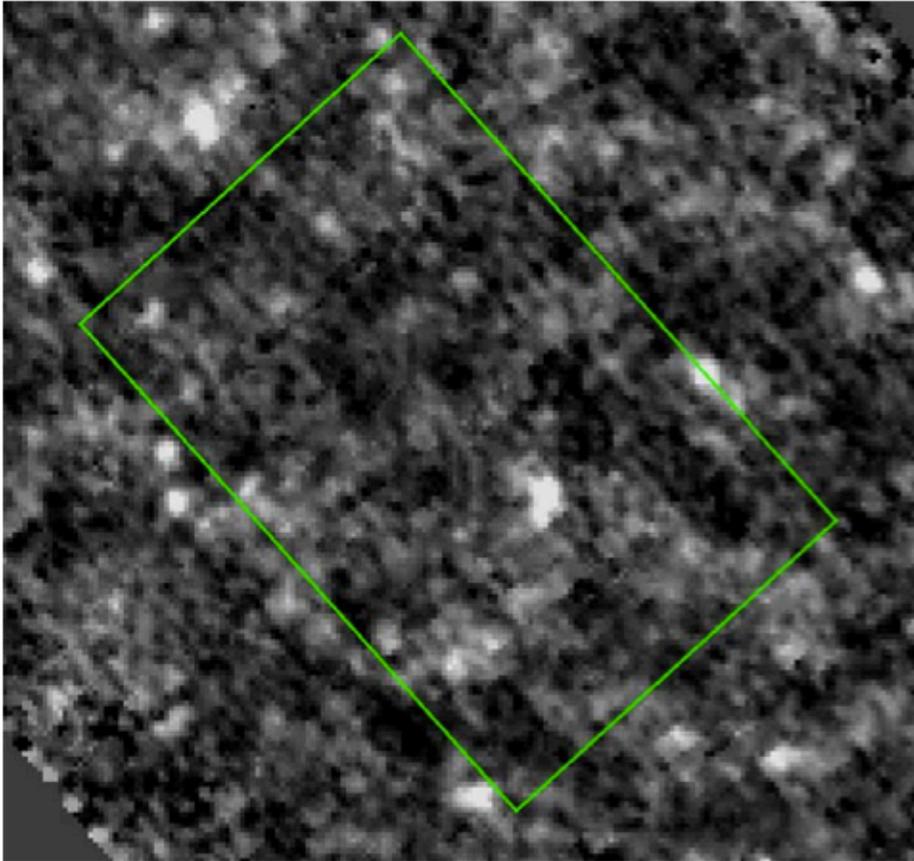


même région du ciel observée par 3 télescopes de génération différente

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

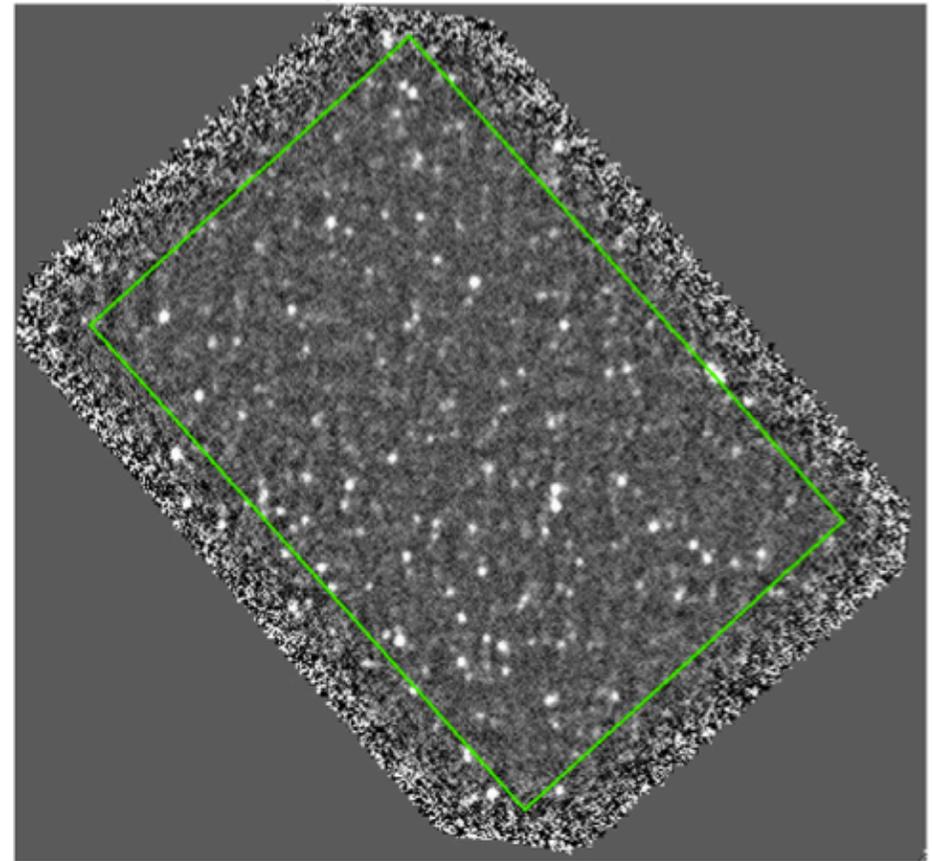
résolution du fond infrarouge en galaxies

GOODS-N 160 μ m



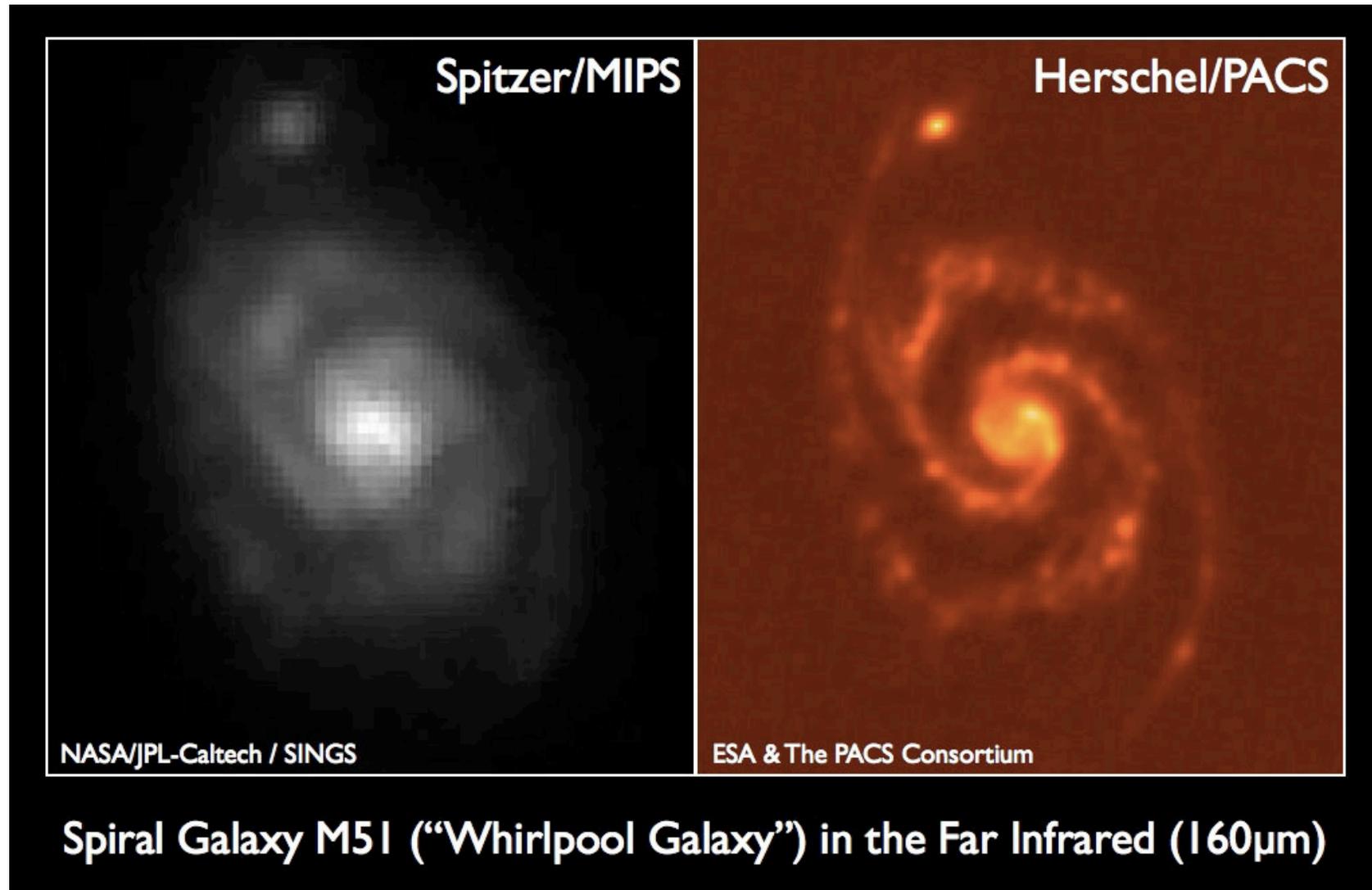
Spitzer MIPS 160um
FIDEL
2005

GOODS-N 160 μ 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

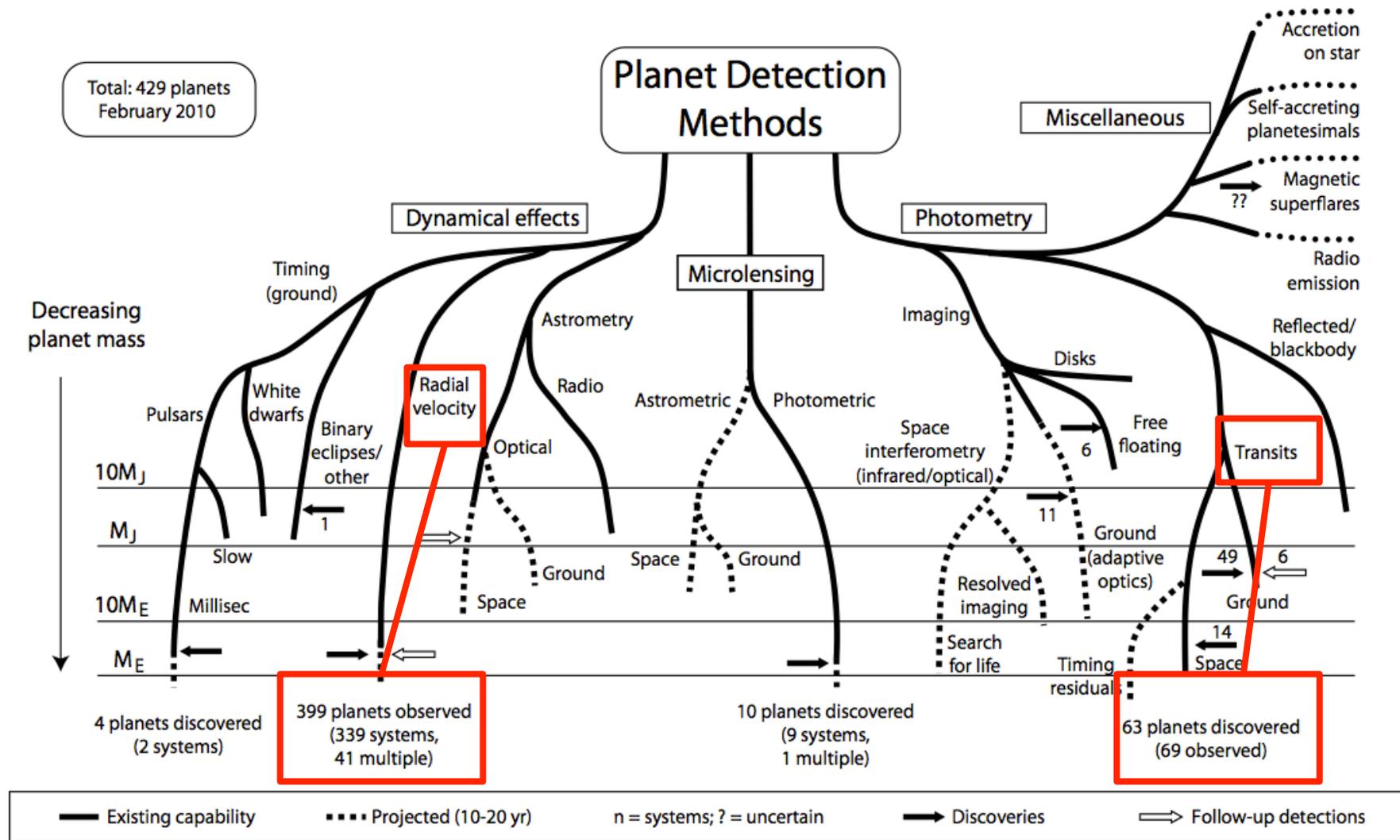
matière noire

rayonnement
cosmologique

expansion de
l'Univers

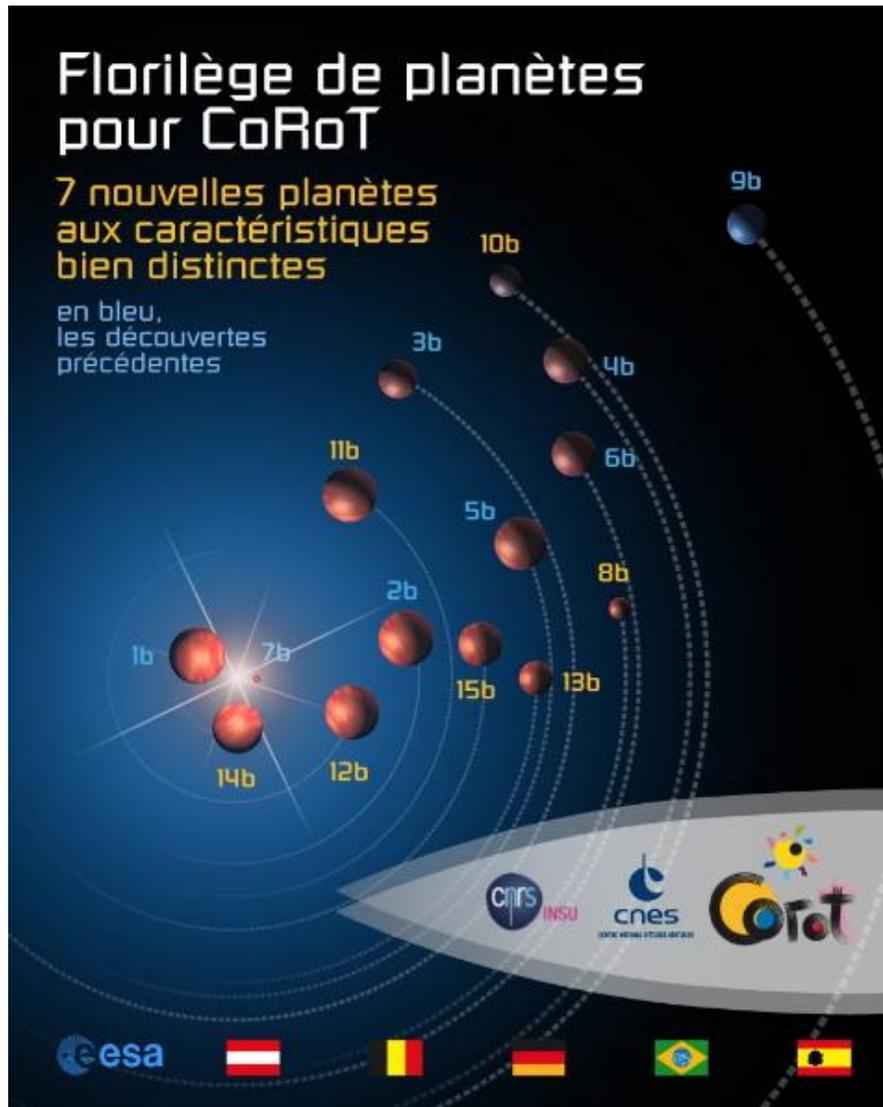
exoplanètes

473 exoplanètes depuis 1995



Perryman Feb 2010

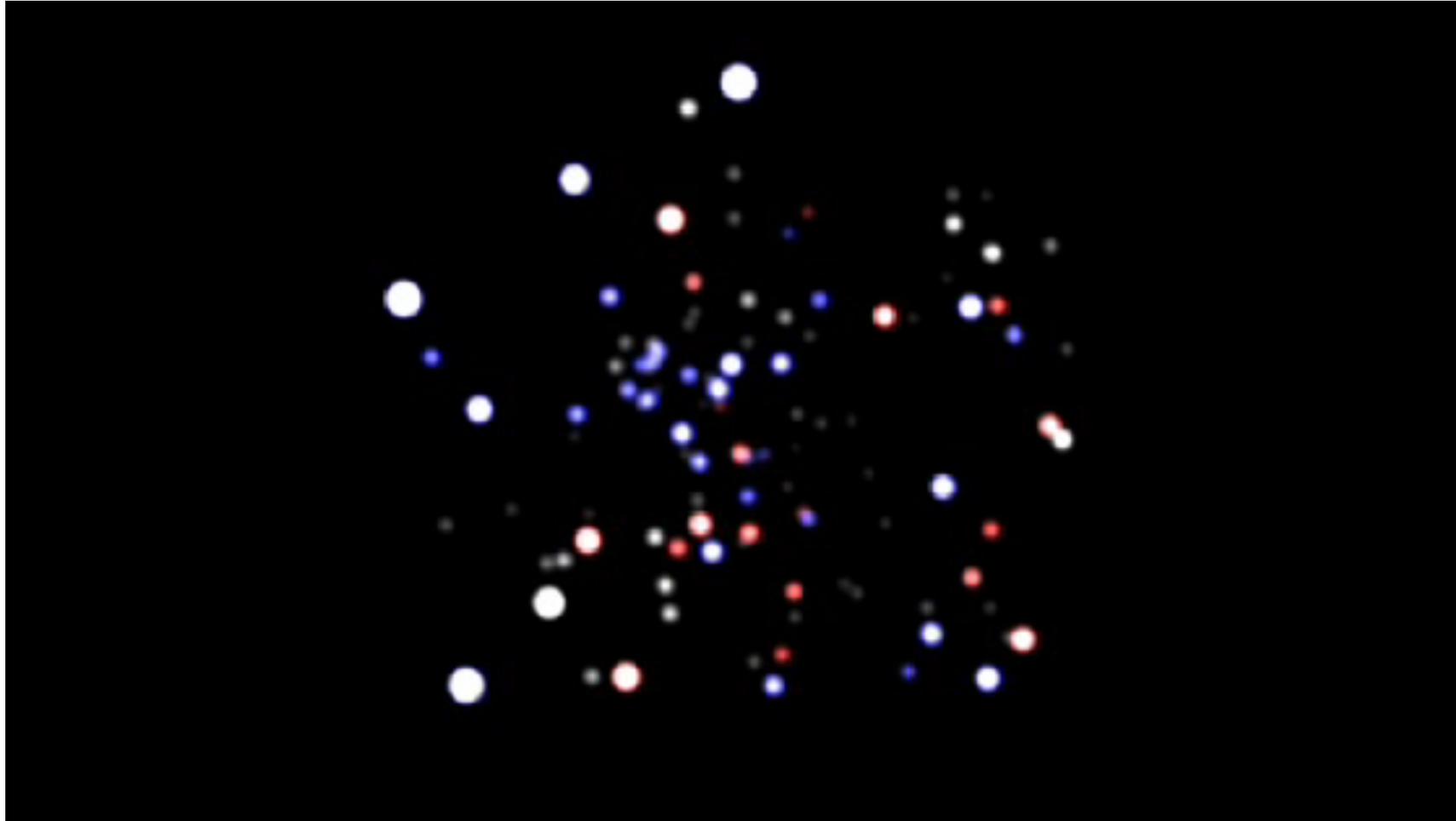
473 exoplanètes depuis 1995



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

trou noir

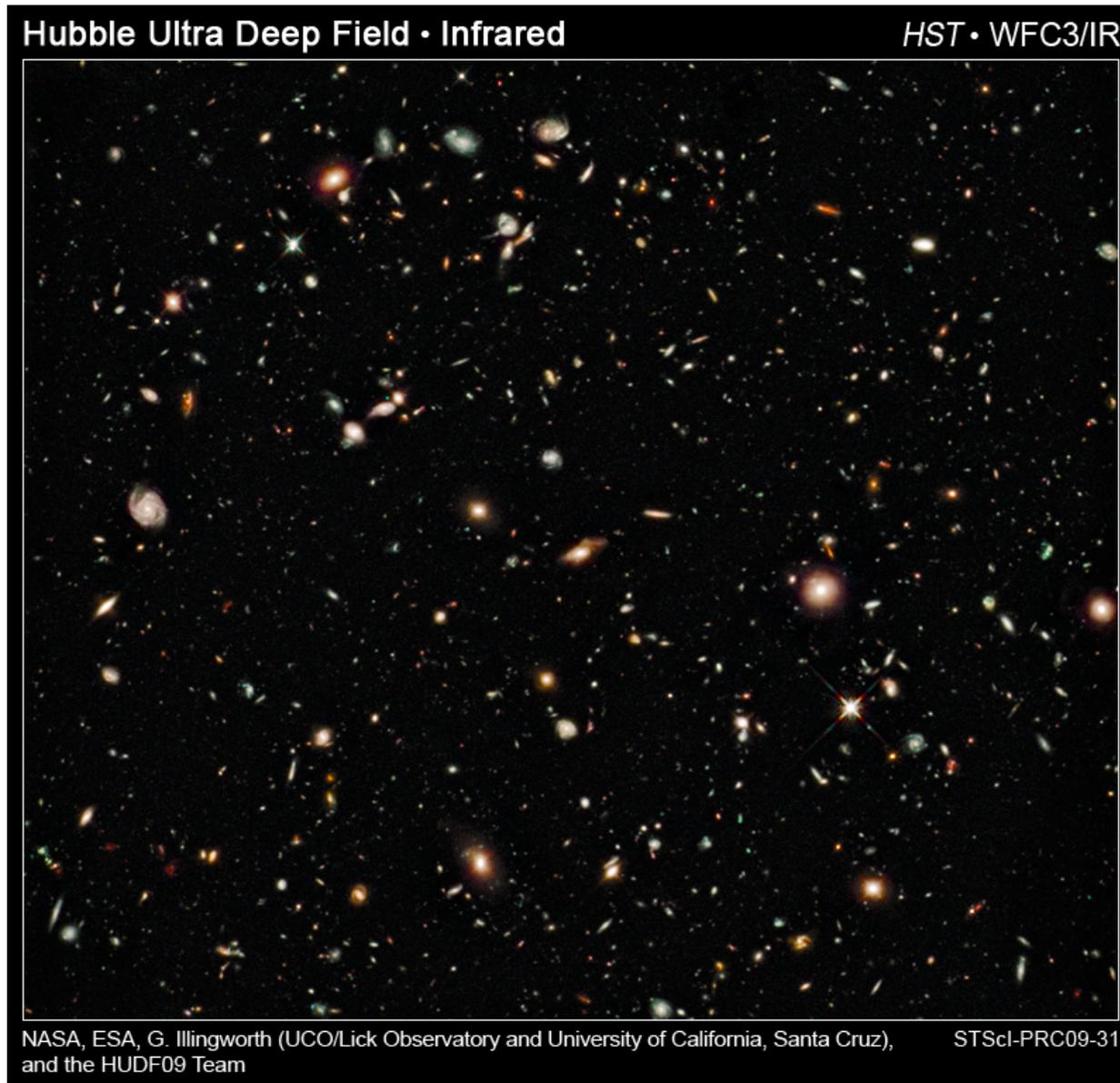
trou noir au centre de notre Galaxie



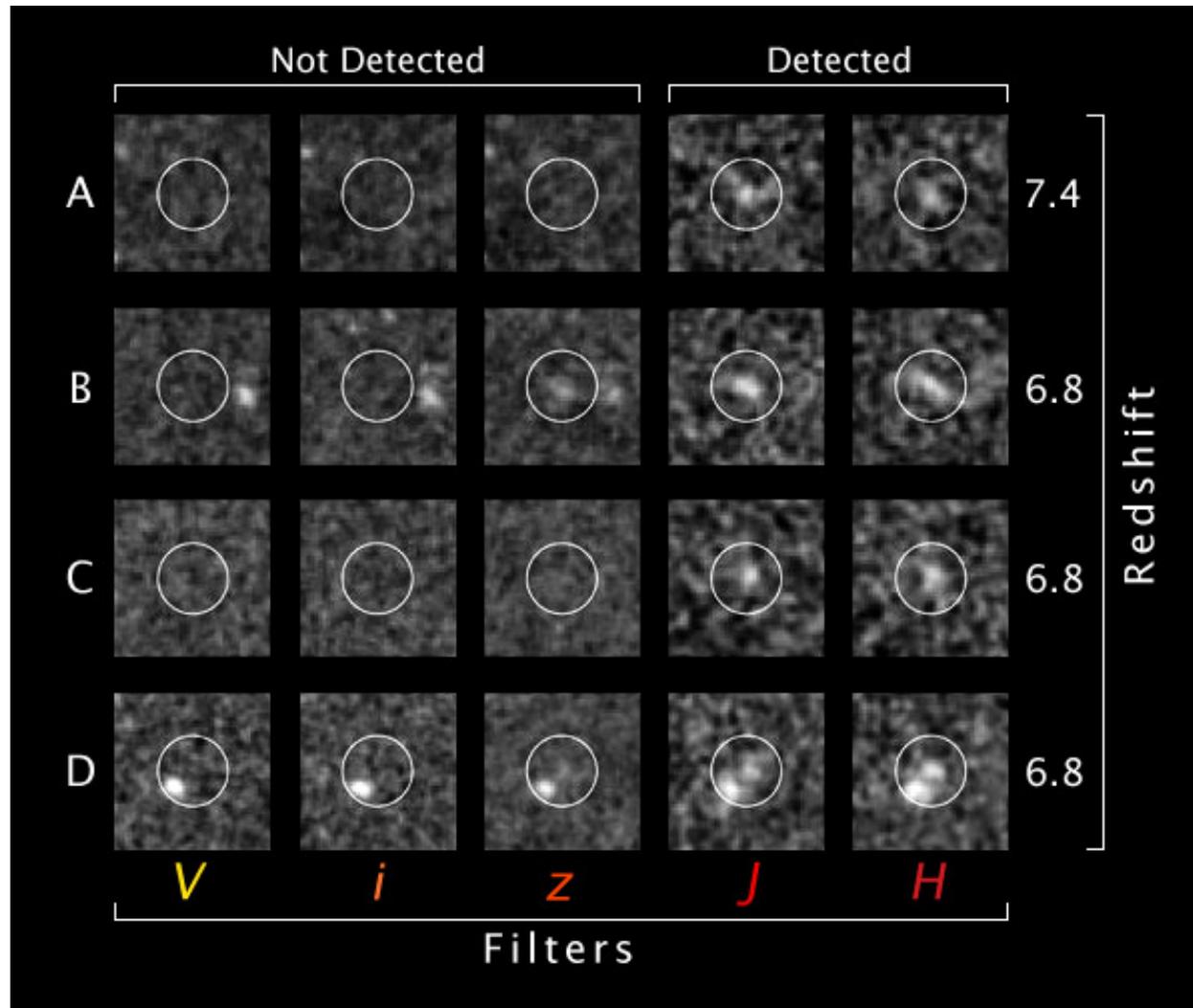
16 ans de données NTT et VLT – ESO -MPG

galaxies

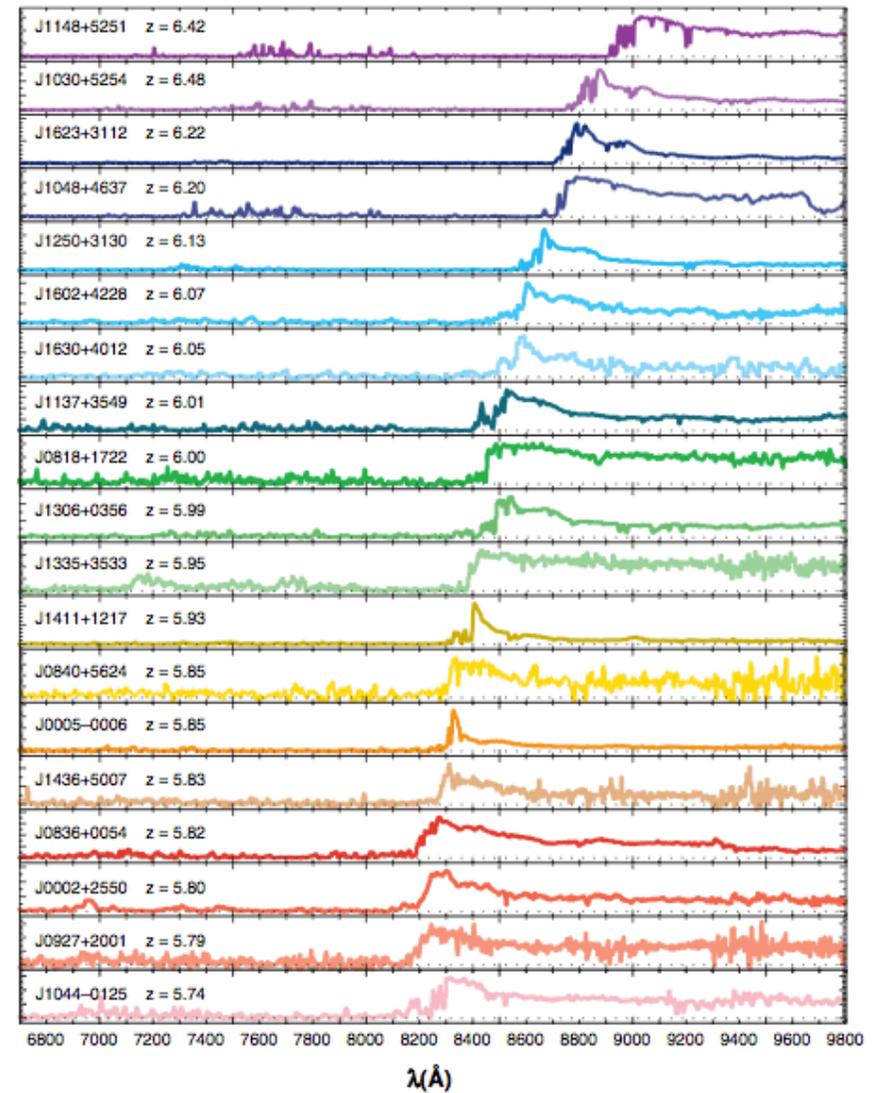
voir loin c'est voir il y a longtemps



quelques galaxies lointaines



la lumière se décale vers le rouge



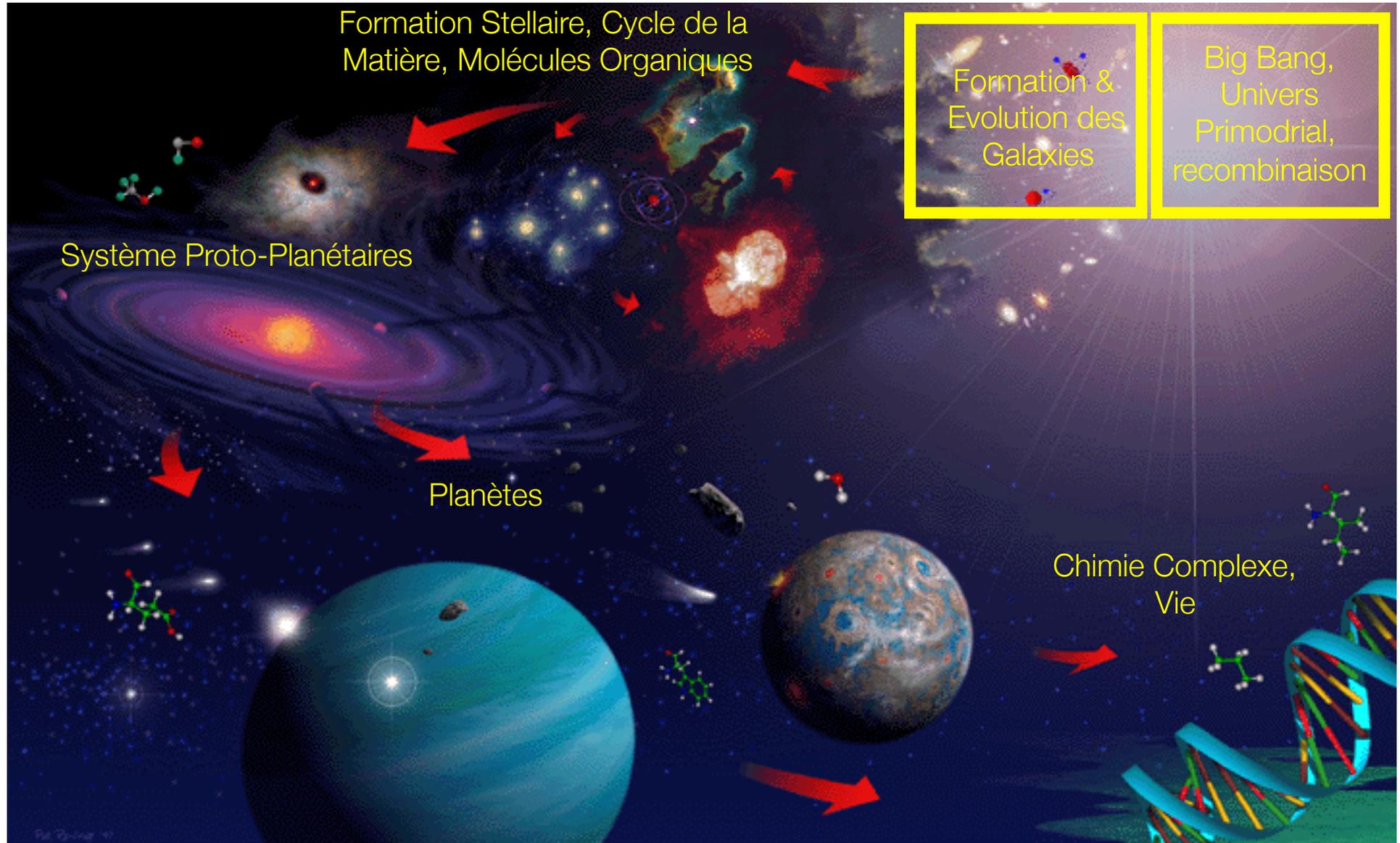
Fan, 2006, ARAA

Figure 1

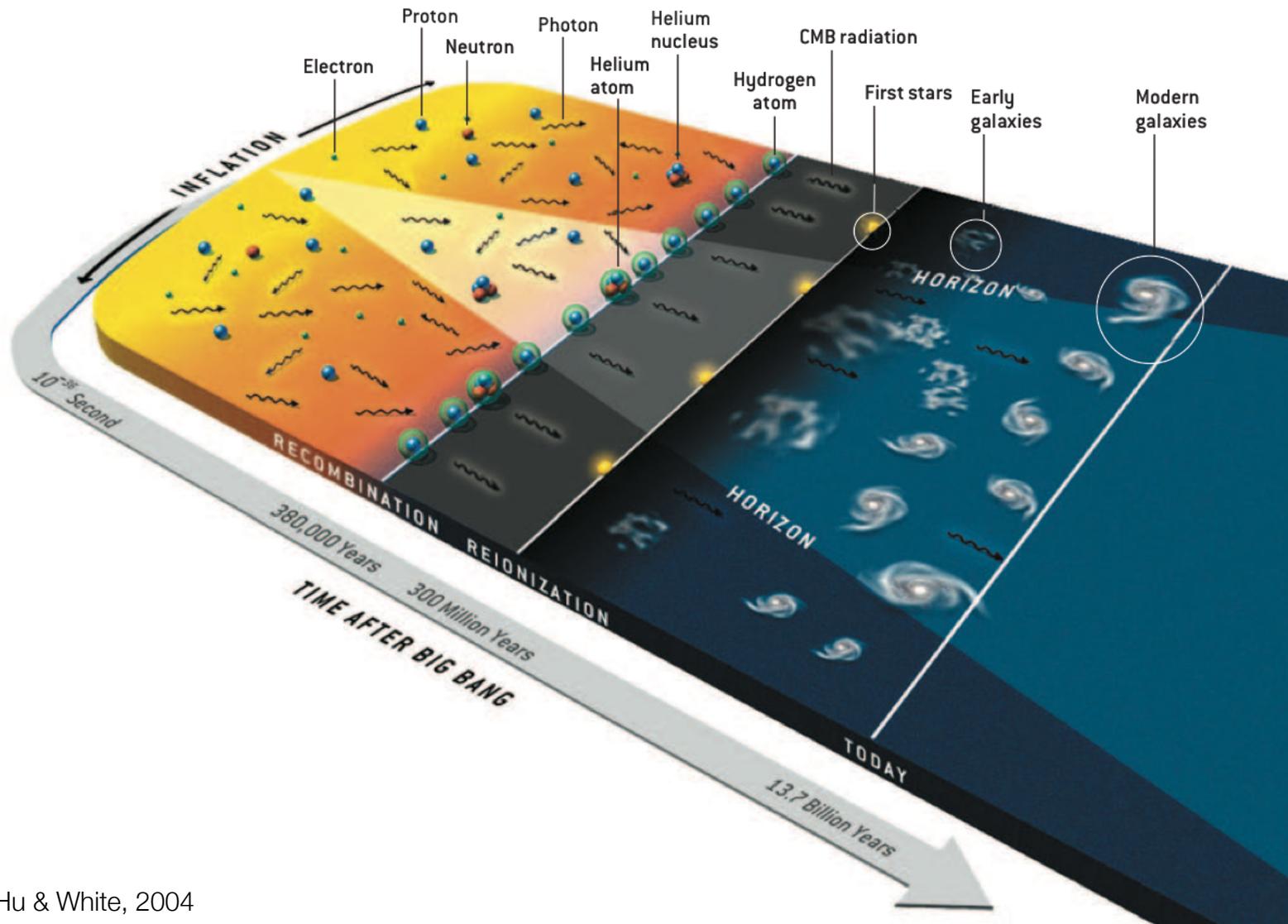
Moderate resolution spectra of nineteen SDSS quasars at $5.74 < z < 6.42$. Adapted from Fan et al. (2006b).

rayonnement cosmologique

petite histoire de l'Univers



petite histoire de l'Univers

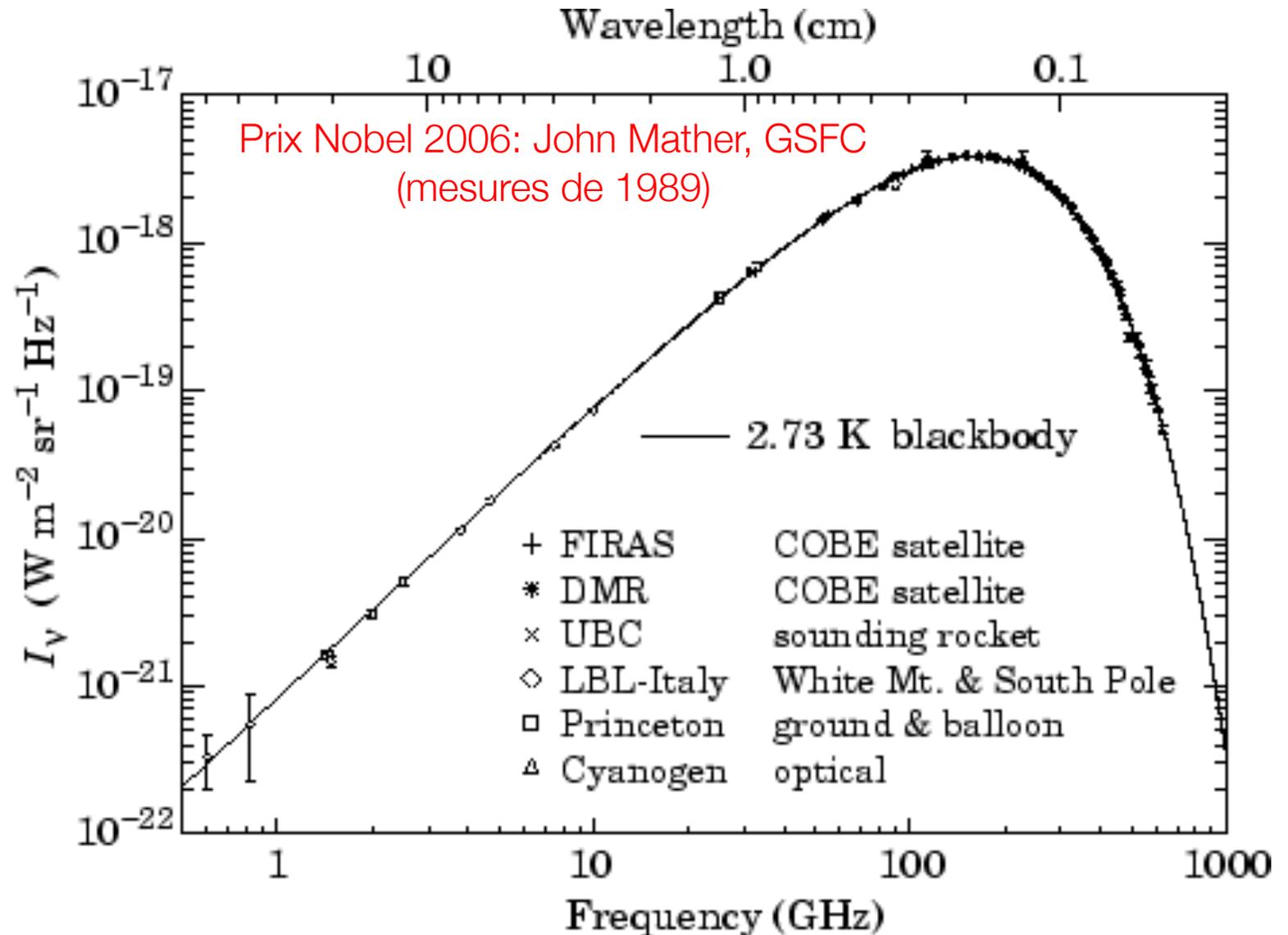


Hu & White, 2004

le rayonnement de corps noir

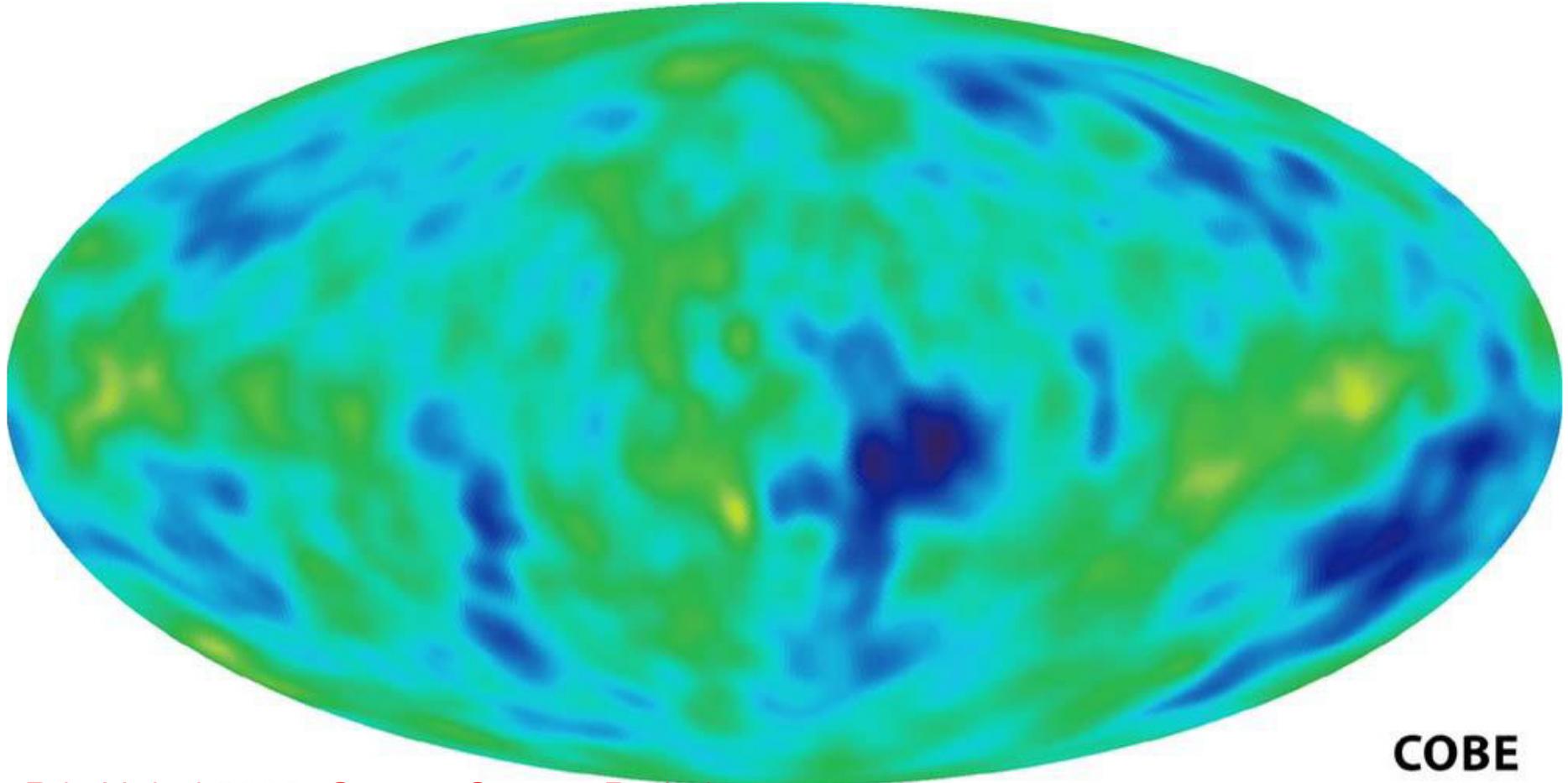
corps noir
 $T=2.725\text{ K}$

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



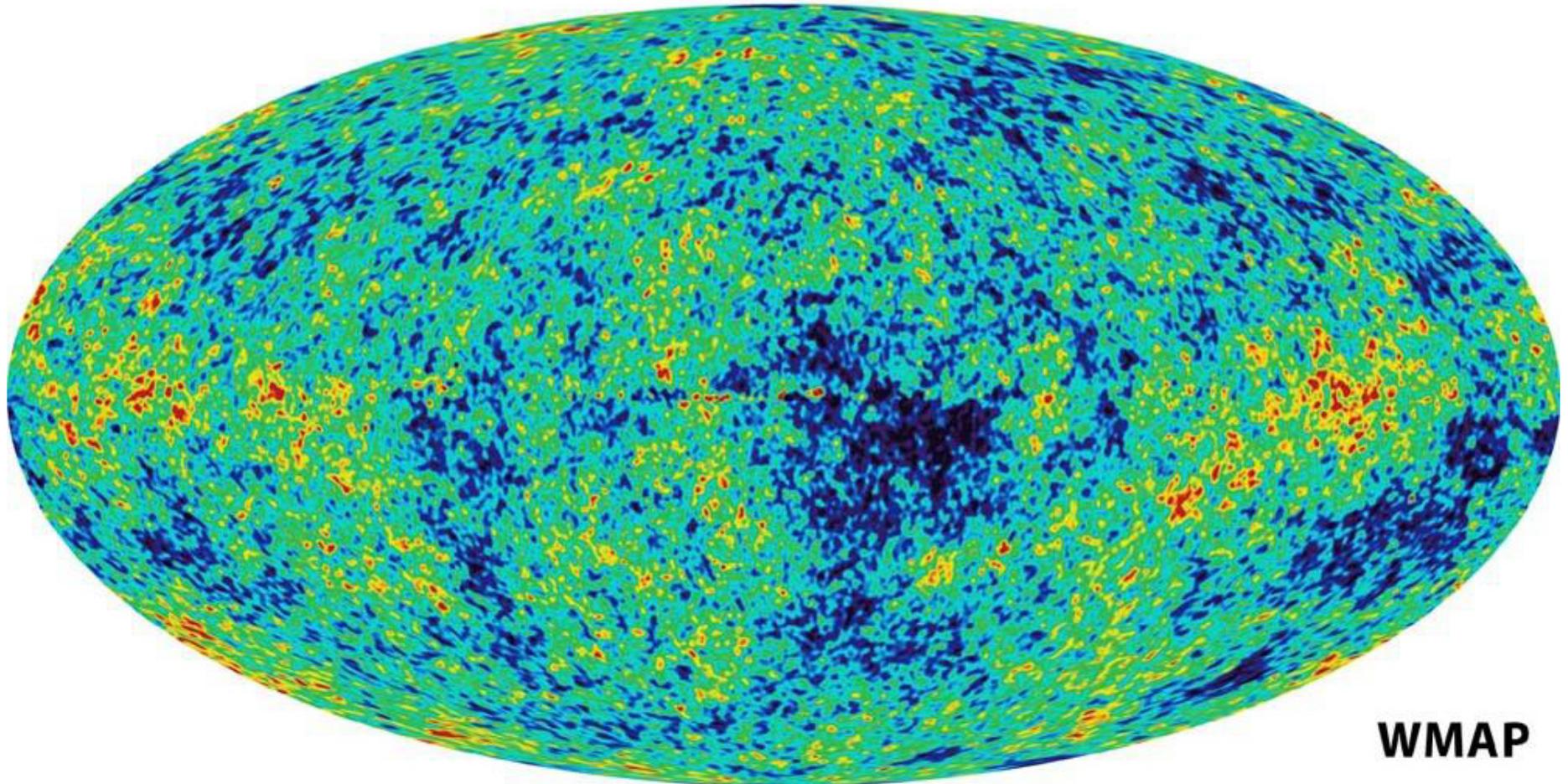
fluctuations de température

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

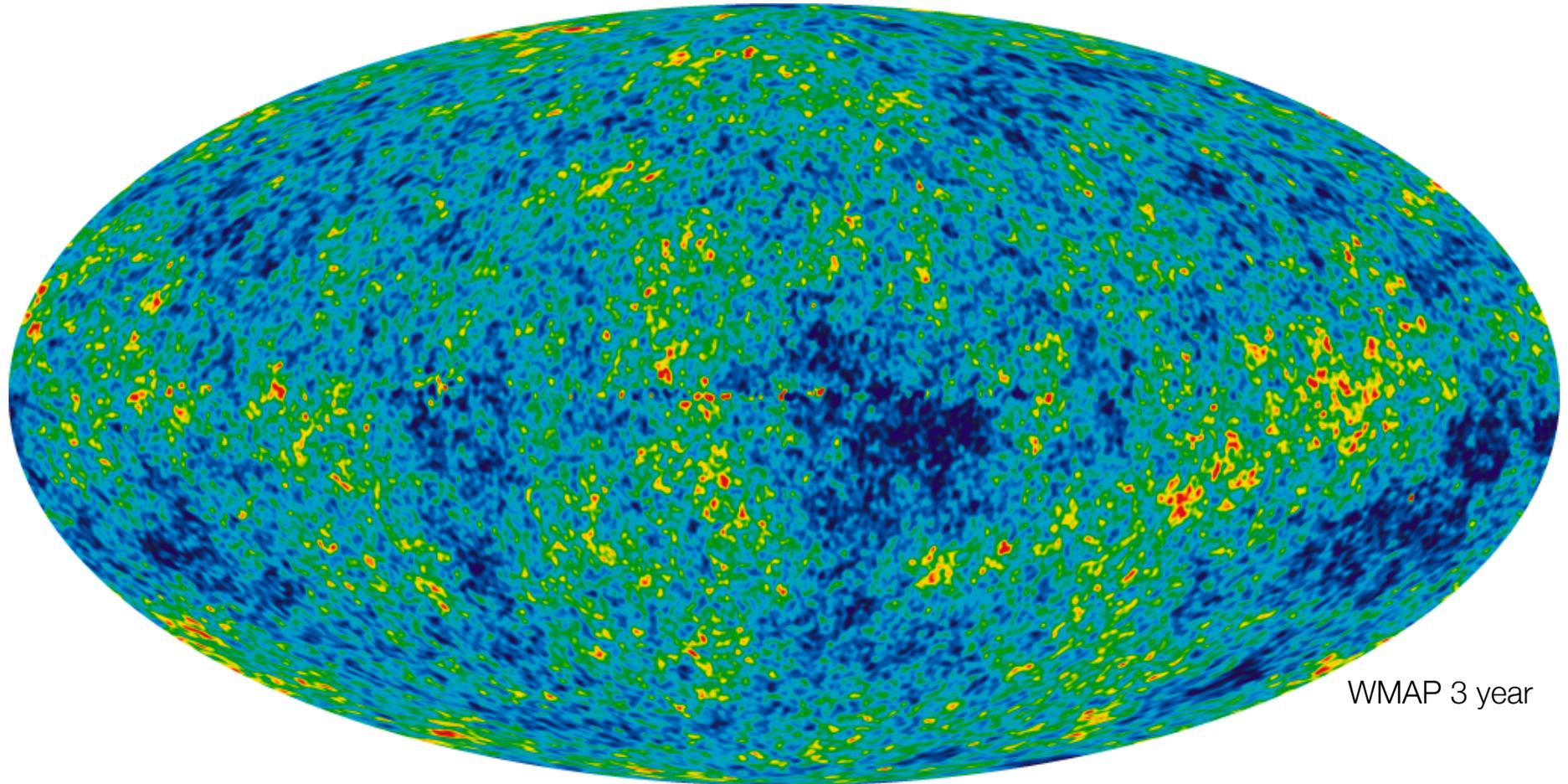


Prix Nobel 2006: George Smoot, Berkeley
(mesures de 1992)

fluctuations de température

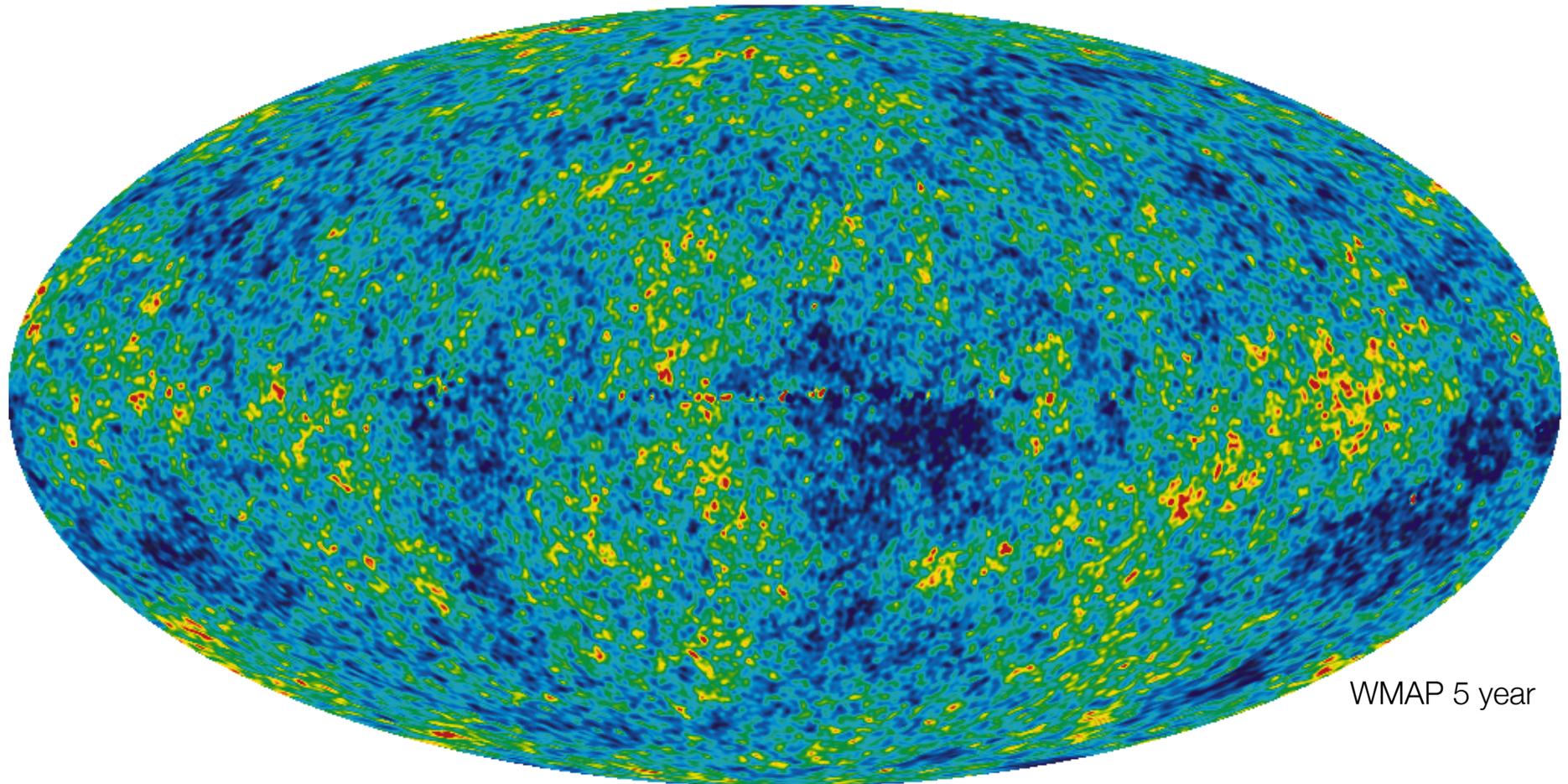


fluctuations de température



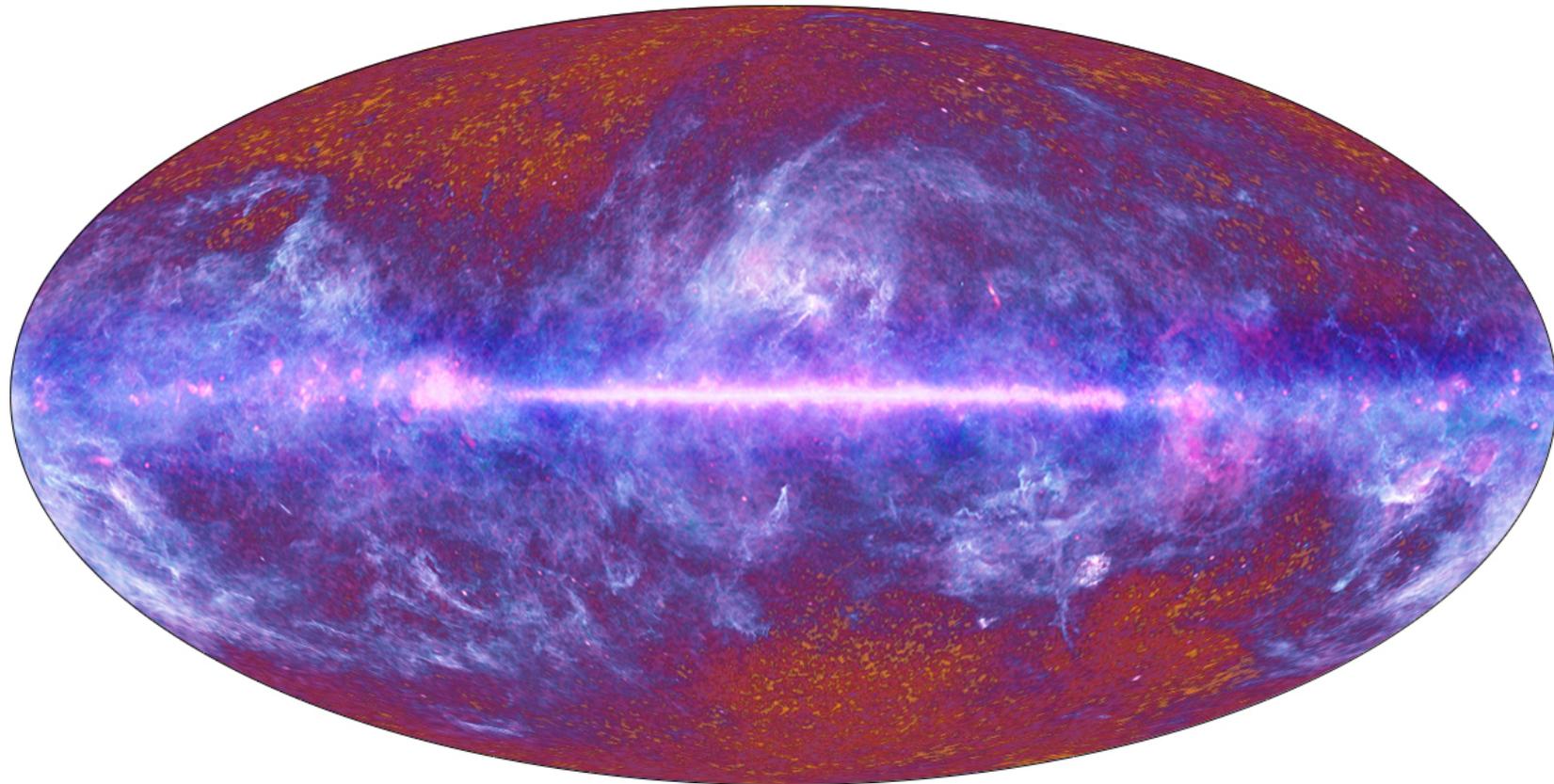
WMAP 3 year

fluctuations de température



WMAP 5 year

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)
$\Omega_b h^2 = 0.0224^{+0.0009}_{-0.0009}$	$z_{\text{dec}} = 1089^{+1}_{-1}$
$\Omega_b = 0.044^{+0.004}_{-0.004}$	$\Delta z_{\text{dec}} = 195^{+2}_{-2}$
$n_b = 2.5 \times 10^{-7+0.1 \times 10^{-7}}_{-0.1 \times 10^{-7}} \text{ cm}^{-3}$	$h = 0.71^{+0.04}_{-0.03}$
$\Omega_m h^2 = 0.135^{+0.008}_{-0.009}$	$t_0 = 13.7^{+0.2}_{-0.2}$ Gyr
$\Omega_m = 0.27^{+0.04}_{-0.04}$	$t_{\text{dec}} = 379^{+8}_{-7}$ kyr
$\Omega_{\nu} h^2 < 0.0076$ (95% CL)	$t_r = 180^{+220}_{-80}$ Myr (95% CL)
$m_{\nu} < 0.23$ eV (95% CL)	$\Delta t_{\text{dec}} = 118^{+3}_{-2}$ kyr
$T_{\text{cmb}} = 2.725^{+0.002}_{-0.002}$ 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)
$\Omega_b \Omega_m^{-1} = 0.17^{+0.01}_{-0.01}$	$\theta = 0.598^{+0.002}_{-0.002}$
$\sigma_8 = 0.84^{+0.04}_{-0.04}$ Mpc	$d_A = 14.0^{+0.2}_{-0.3}$ Gpc
$\sigma_8 \Omega_m^{0.5} = 0.44^{+0.04}_{-0.05}$	$l_A = 301^{+1}_{-1}$
$A = 0.833^{+0.086}_{-0.083}$	$r_s = 147^{+2}_{-2}$ Mpc

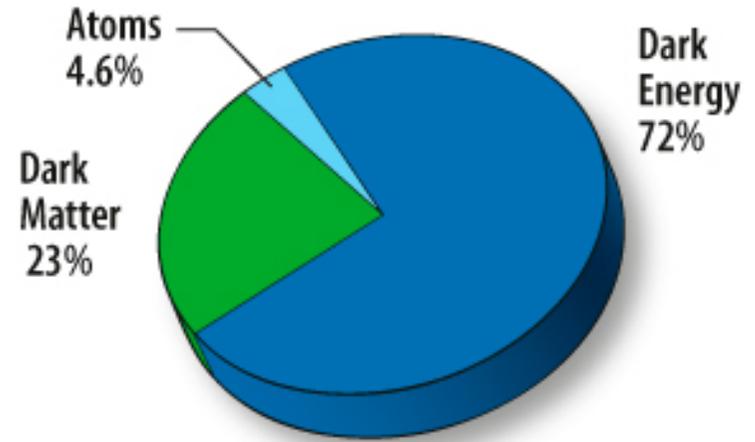
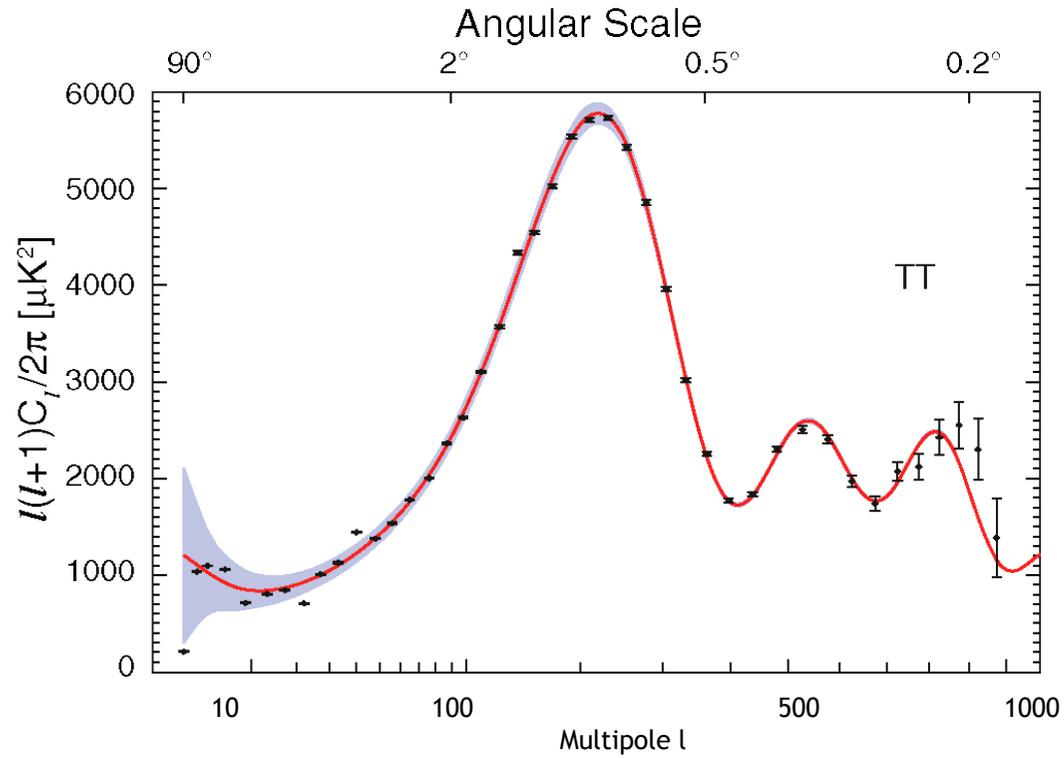
l'Univers en chiffres – précis !

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

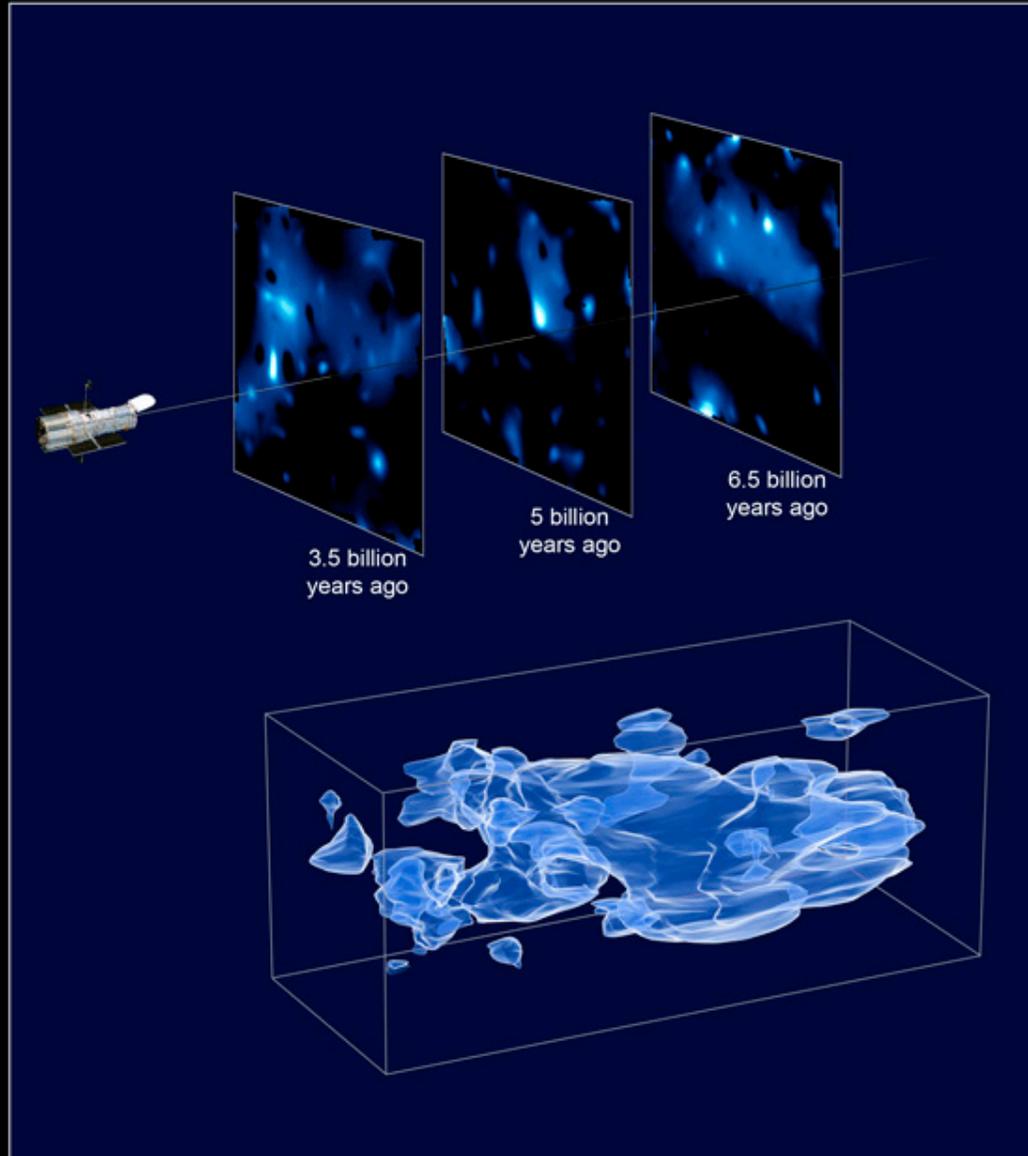
Multipole moment l

(Universe 13.8 billion years old)

matière noire

Distribution of Dark Matter

HST ■ ACS/WFC

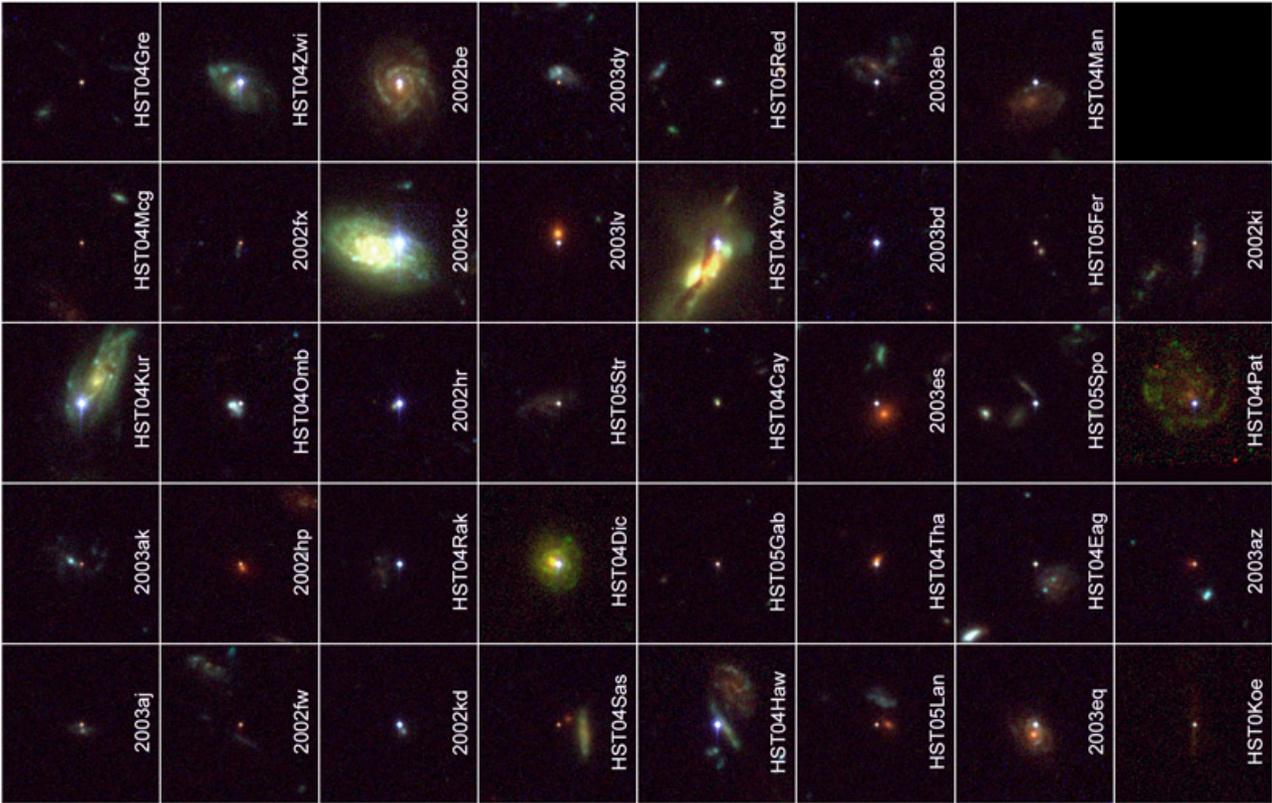
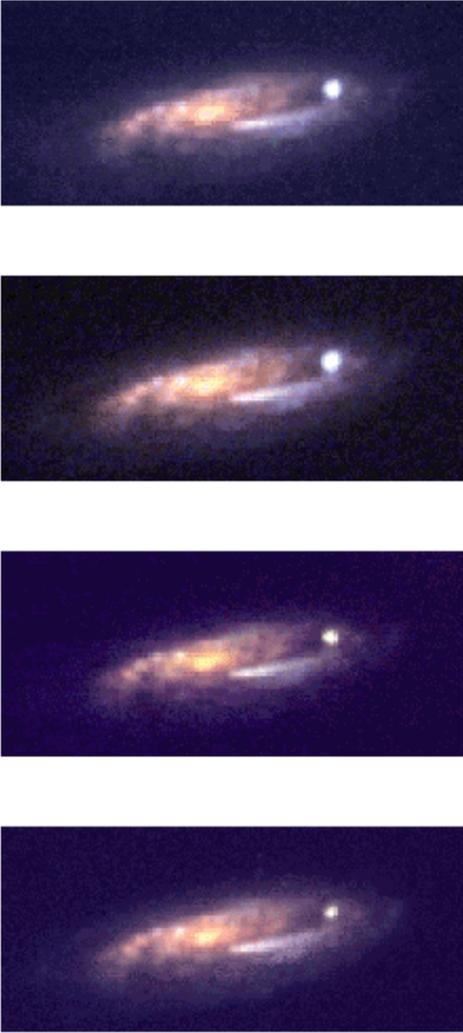


NASA, ESA, and R. Massey (California Institute of Technology)

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

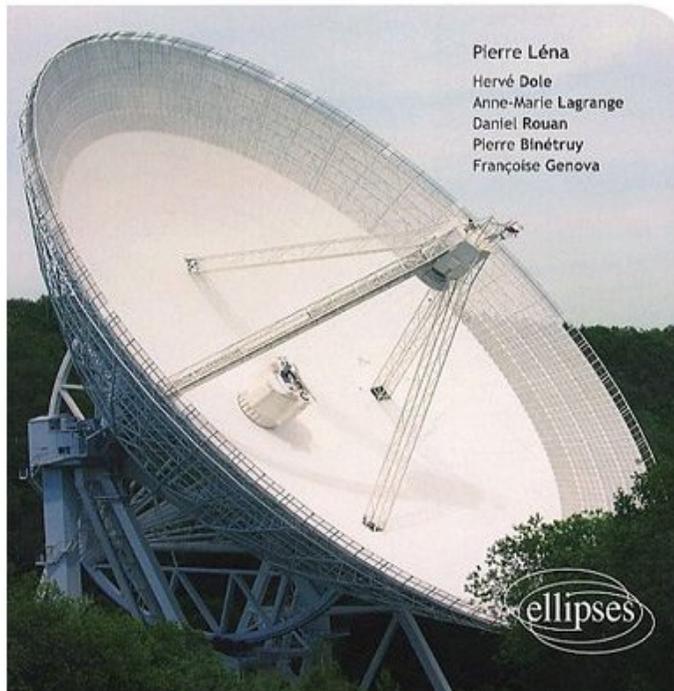
- proviennent du développement des **télescopes** au **sol** et dans l'**espace**
- mais aussi des avancées technologiques des **détecteurs** et de la **puissance de calcul** pour le traitement/archivage/diffusion des données et les simulations
- l'astrophysique est tantôt moteur, tantôt bénéficiaire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