

# Les Oscillations Acoustiques Baryoniques (BAO) en radio

---

Forum Pre-SKA  
R. Ansari  
9 Octobre 2009



## ■ Les Oscillations Acoustiques Baryoniques et l'énergie noire

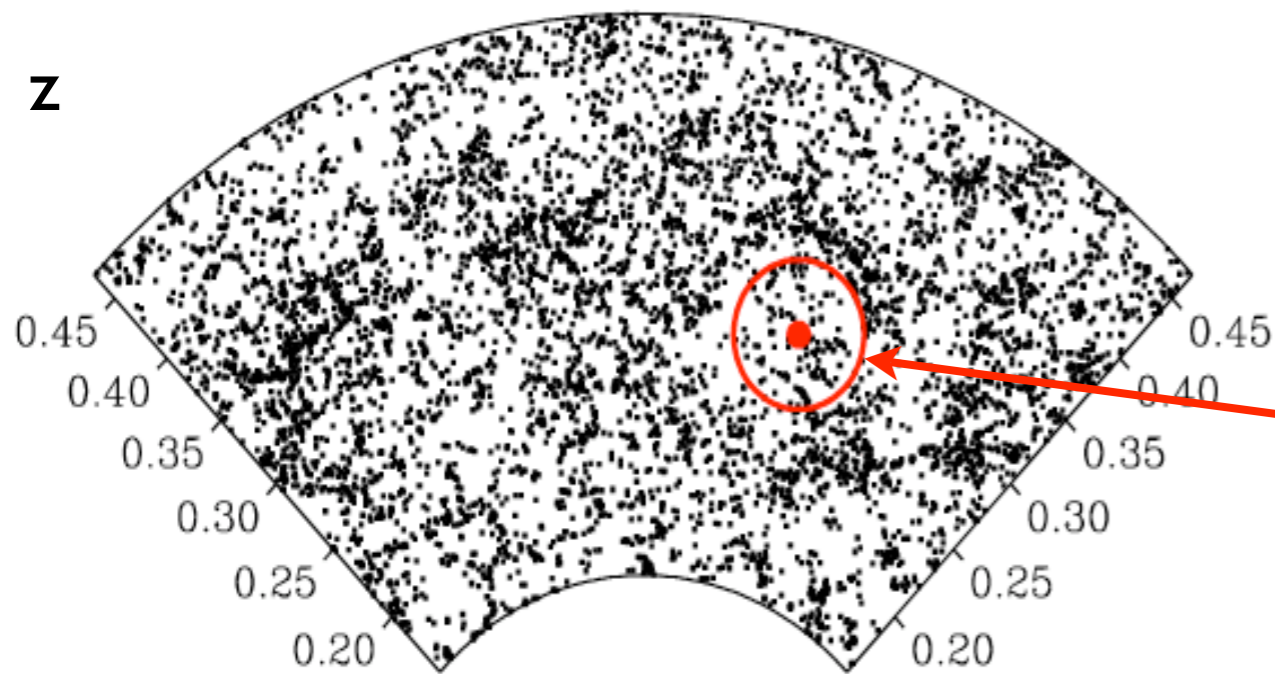
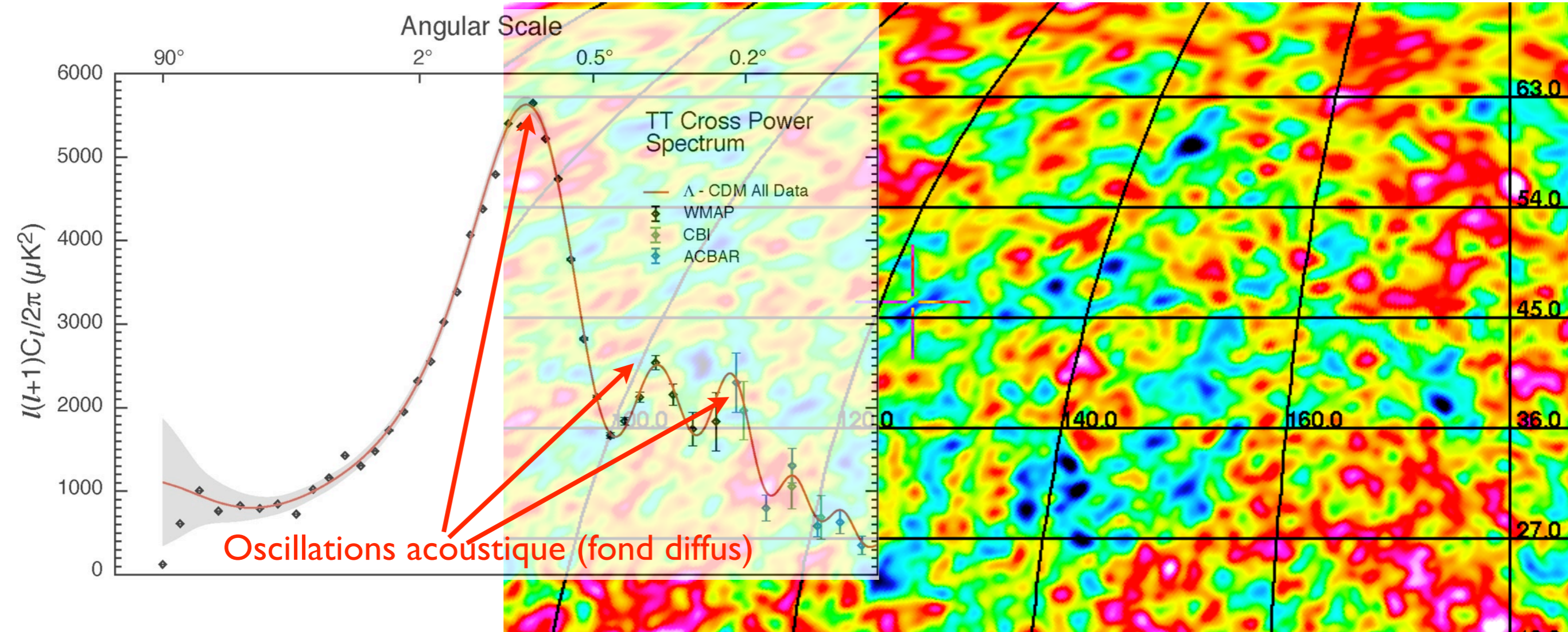
### ■ BAO en radio

- Observation des galaxies
- Cartographie 3D de l'émission H<sub>21</sub>

### ■ Projet BAORadio : R&D en France

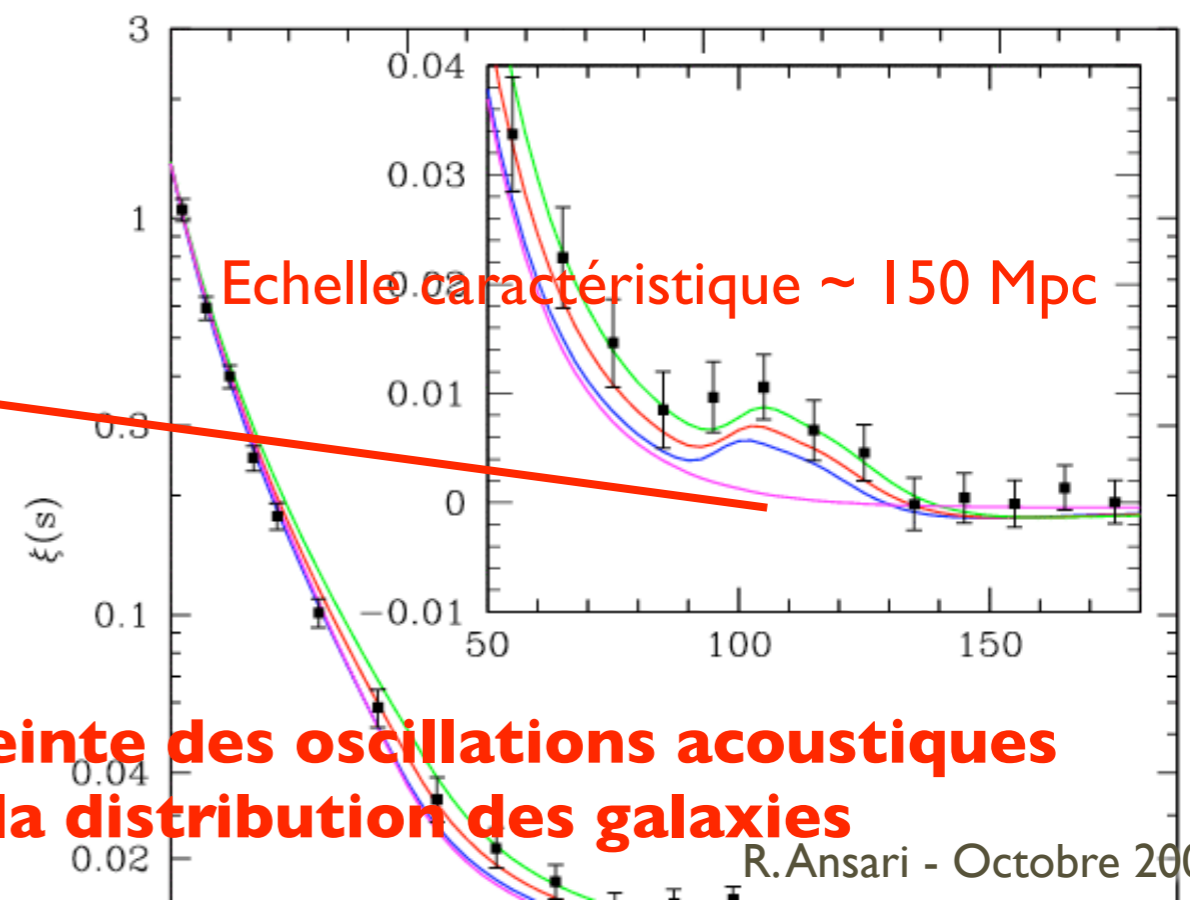
- Développement de la chaîne électronique
- Tests à Nançay et à Pittsburgh





Distribution galaxies  
plan (z, angle ( $\alpha, \delta$ ))

**BAO: Empreinte des oscillations acoustiques dans la distribution des galaxies**





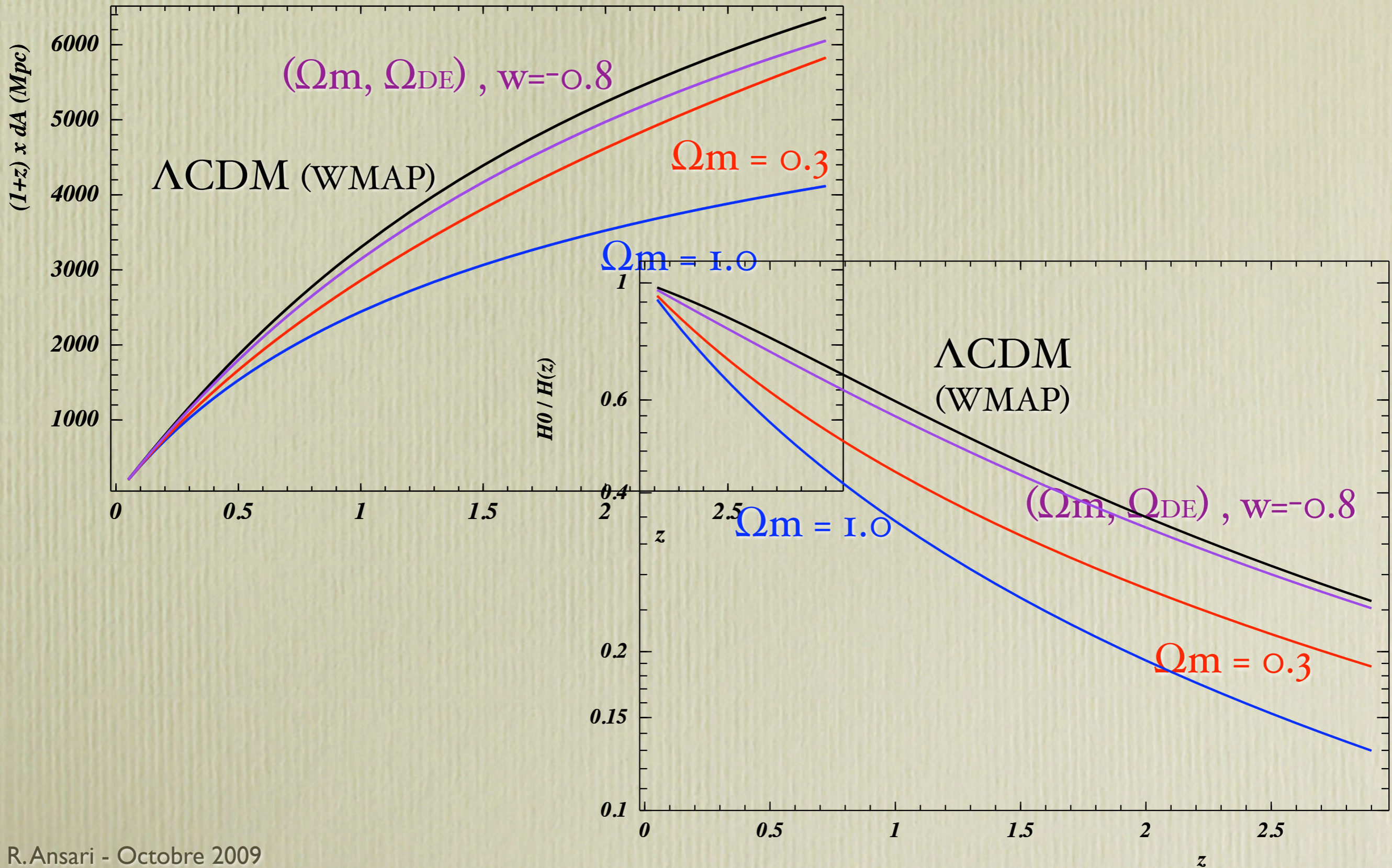
# BAO : Oscillations Acoustiques Baryoniques

- Empreintes laissées par les oscillations du fluide baryons-photons dans la distribution de la matière ordinaire (lumineuse) au cours de la formation des structures
- Modulation de la distribution de matière baryonique, qui suit essentiellement la matière sombre, dans des structures formées par croissance des fluctuations de densité et effondrement gravitationnel
- Sonde cosmologique de type règle standard - avec une mesure @  $z \sim 1100$  en prime (anisotropies du fond diffus micro-ondes)



# Distance de diamètre angulaire $d_A(z)$

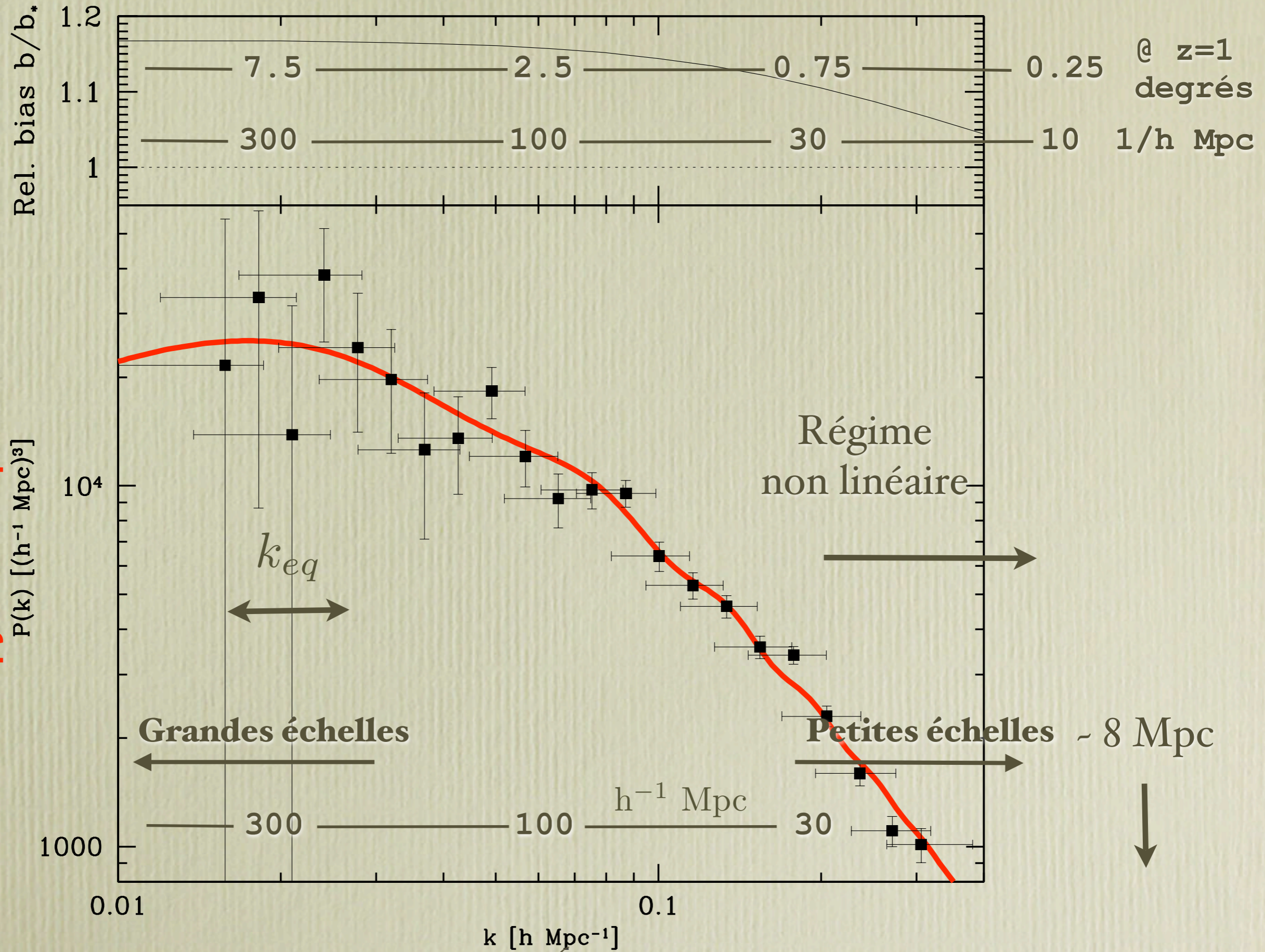
## Taux d'expansion $H_0 / H(z)$ (BAO radial/LOS)





# SDSS - M. Tegmark et al.

ApJ, astro-ph/03010725





# SDSS DR6 -

**A.G. Sanchez et al.**

MNRAS , astro-ph/0901.2570

**SDSS-LRG 75000 LRG's**

**~ 6000 deg<sup>2</sup> 0.15 < z < 0.47**

# SDSS DR6 -

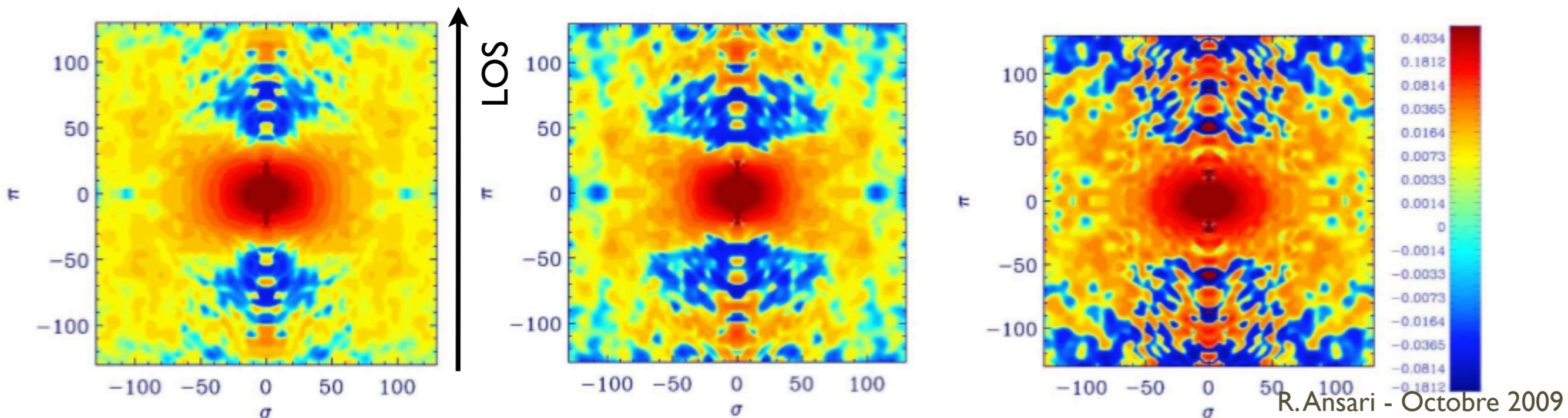
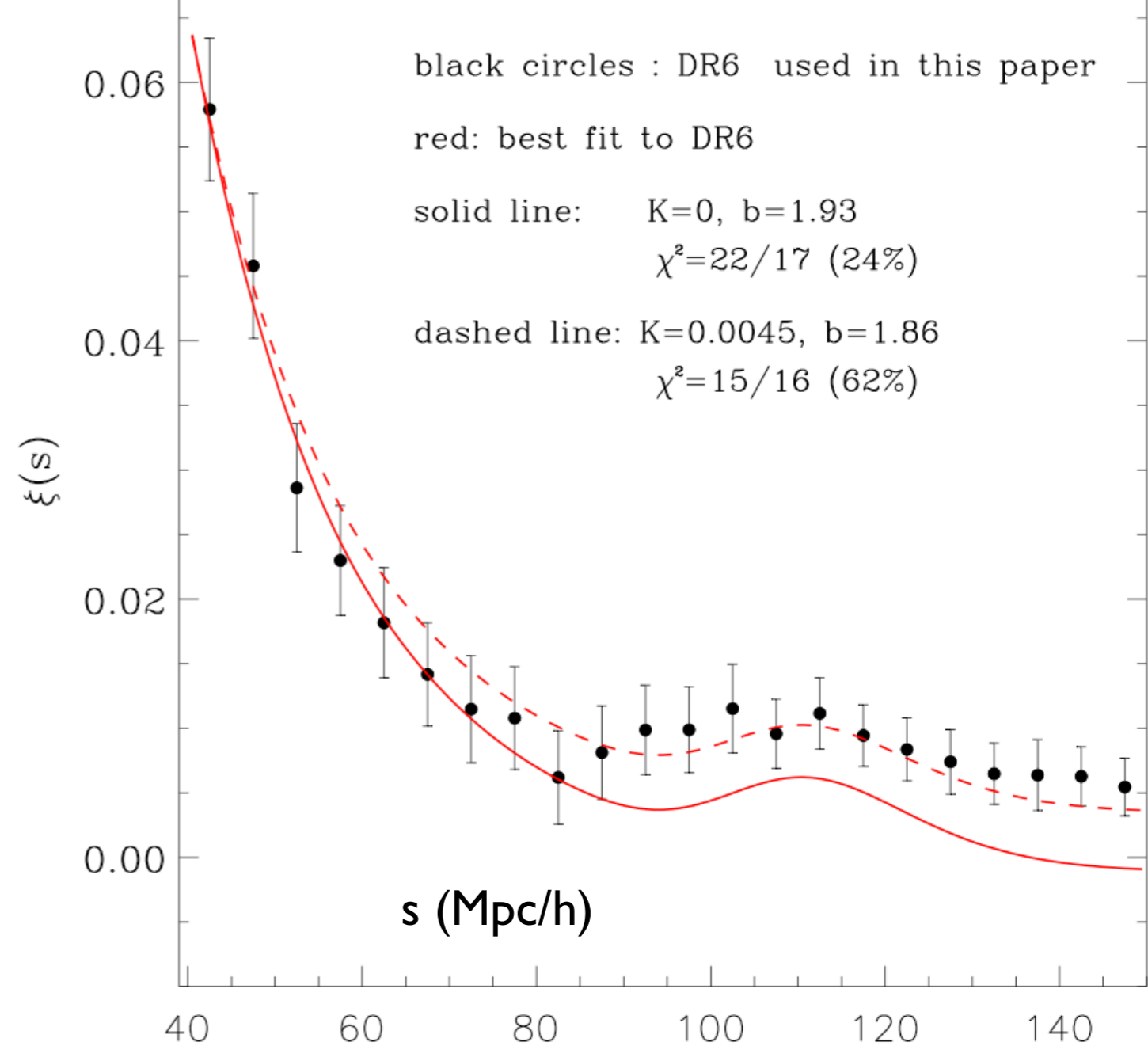
**E. Gaztanaga et al.**

MNRAS , astro-ph/0807.3551

**SDSS-LRG 75000 LRG's**

**~ 6000 deg<sup>2</sup> 0.15 < z < 0.47**

**Line of sight / transverse  $\xi(\pi, \sigma)$**

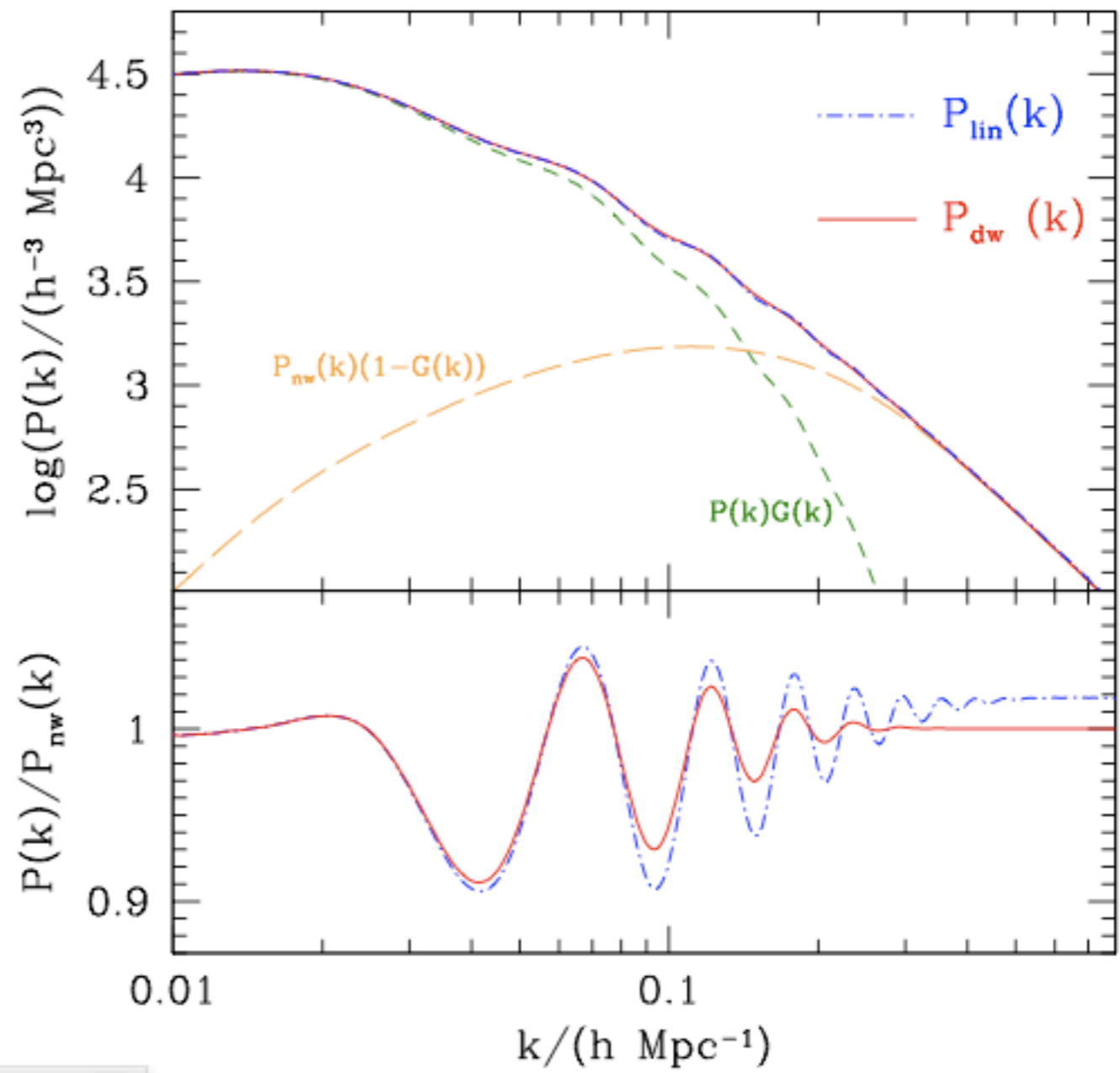
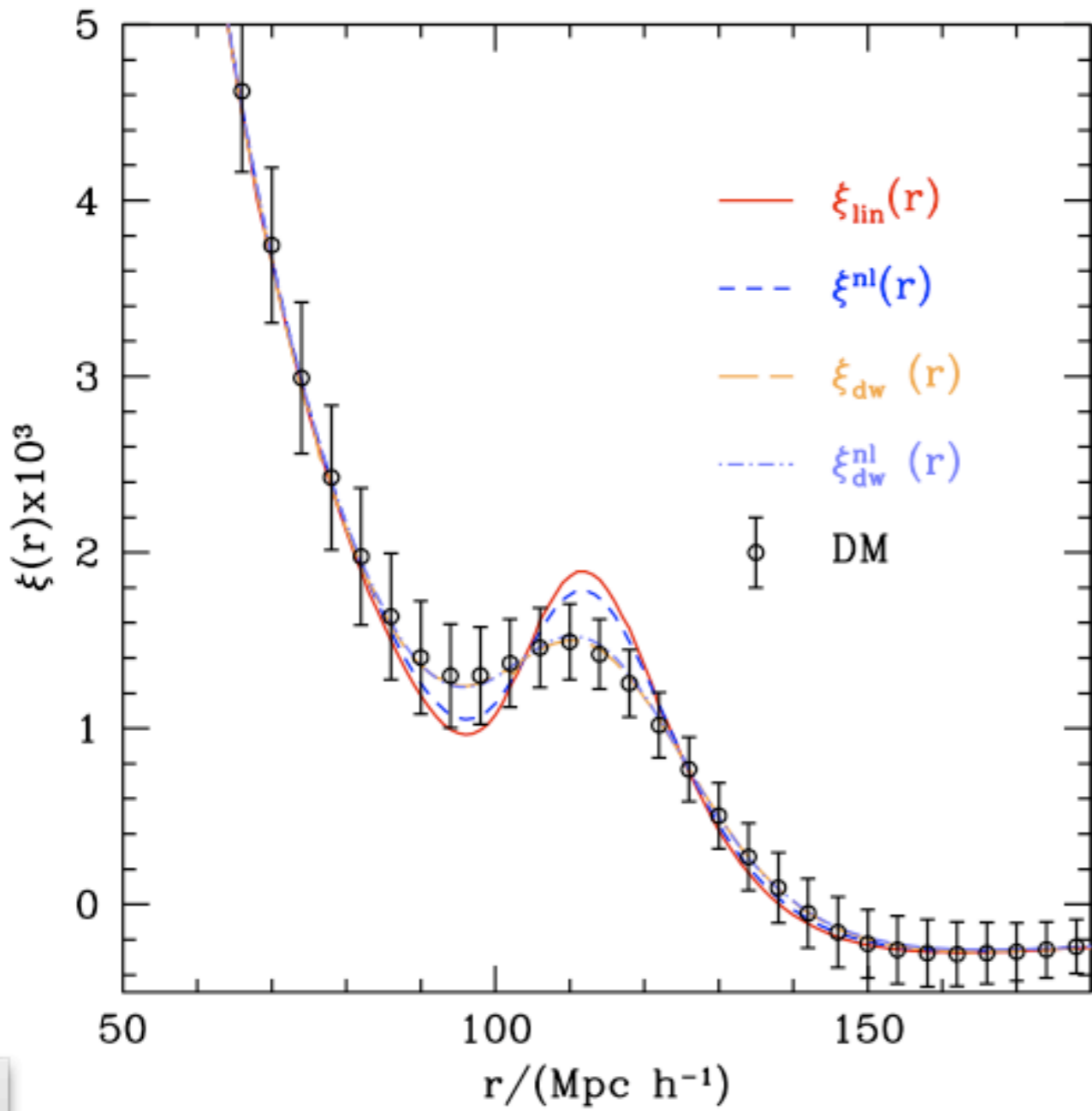




# Biais et effets systématiques

- Effets exotiques changeant l'horizon acoustique
- $P(k)$  et le régime non linéaire (élargit/déplace le pic de corrélation)
- Biais : traceurs (galaxies) / matière noire, effets d'évolution
- Distorsion dans l'espace des redshifts
- Biais de sélection
- Géométrie du relevé,
- Autres biais/erreurs induits par les observations (photo-z ...)
- Avant-plans en radio





## Régime non linéaire et effet sur les BAO

A.G.Sanchez et al astro-ph/0804.0233



# Incertitudes statistiques sur l'estimation de $P(k)$

- L'incertitude intrinsèque, donnée par le nombre de modes observés ou mesurés
- Shot noise (bruit de grenaille) dû à l'échantillonnage de Poisson du champ de densité par les objets traceurs (galaxies)

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{4\pi^2}{\delta k V_{surv}}} \left[ P + \frac{1}{n_{gal}} \right]$$

$$\frac{1}{n_{gal}} = P_{shotnoise}$$

$n_{gal}$  : Galaxy number density

- Bruit en mode imagerie radio (cartographie de l'intensité d'émission H2I)
- Avant-plans en radio



# BAO en radio

📍 A la manière des relevés optiques :

≡ Identification des sources d'émissions HI (21 cm),  
détermination de la position angulaire et du décalage vers le rouge - Détermination de la fonction de corrélation à deux points ou le spectre  $P(k)$  à partir du catalogue des objets identifiés

📍 A la manière des observations du fond diffus :

≡ Cartographie à trois dimensions de l'émission HI (21 cm)  
 $T_{21}(\alpha, \delta, z)$  - Estimation et soustraction des avant-plans,  
détermination du spectre  $P(k, z)$  sur les données du cube 3D



# BAO en radio avec les galaxies

$$S_{21}^{Jy} \simeq 0.021 \cdot 10^{-6} \text{ Jy} \frac{M_{HI}}{M_{\odot}} \times \left( \frac{1 \text{ Mpc}}{D_L} \right)^2 \times \frac{200 \text{ km/s}}{\sigma_v}$$

$$S_{lim} = \frac{2 k T_{sys}}{A \sqrt{2 t_{integ} \Delta \nu}}$$

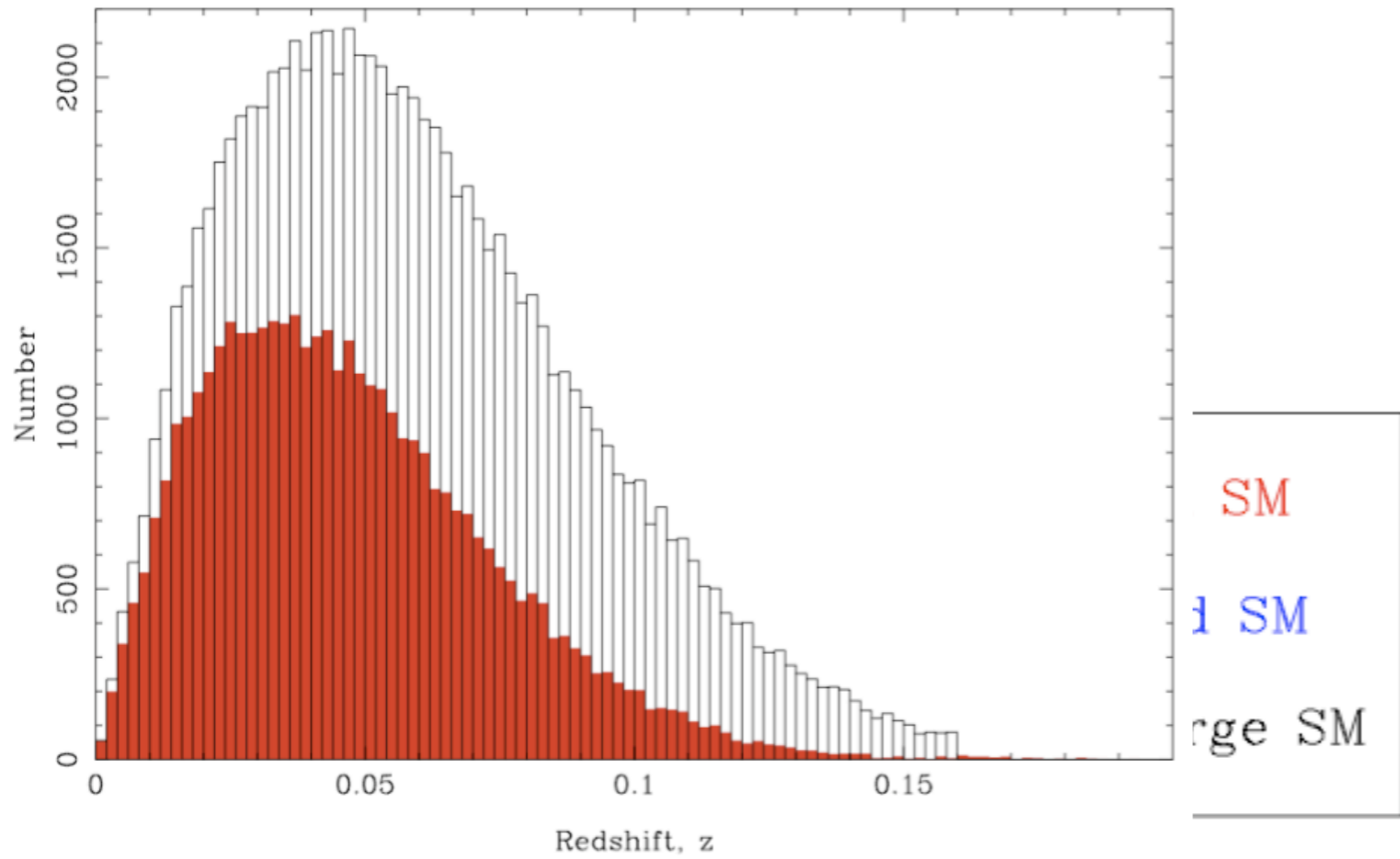
$S_{lim}$  en  $\mu\text{Jy}$  pour  
 $t_{integ} = 86400 \text{ s}$ ,  $\nu = 1 \text{ MHz}$

$S_{21}$  en  $\mu\text{Jy}$  pour  $M_{HI} = 10^{10} M_{\odot}$

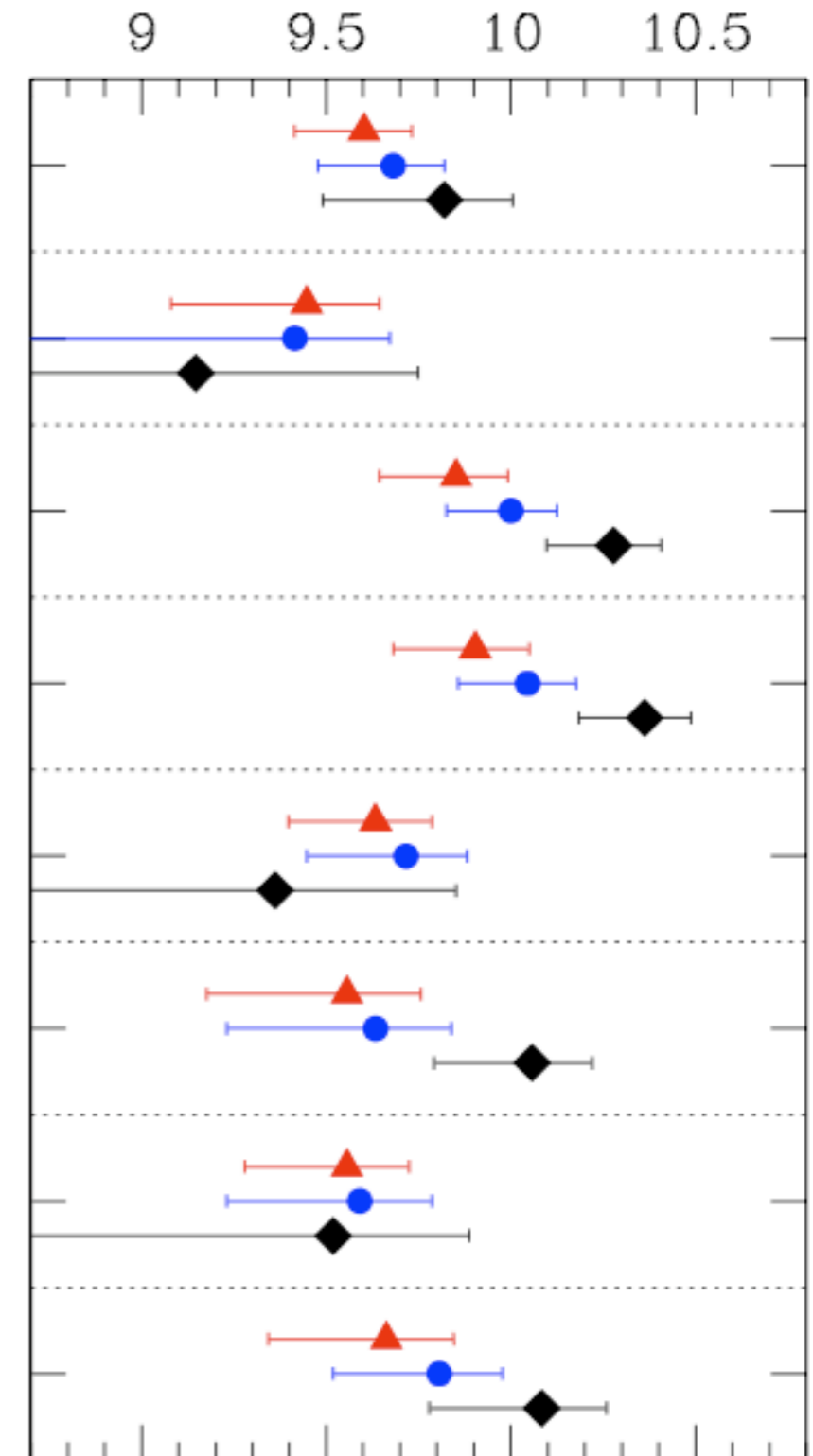
$A \text{ (m}^2\text{)}$	$T_{sys} \text{ (K)}$	$S_{lim} \text{ (}\mu\text{Jy)}$
5000	50	66
5000	25	33
100000	50	3.5
100000	25	1.7

$z$	$S_{21} \text{ (}\mu\text{Jy)}$
0.25	140
0.50	27
1.0	4.8
1.5	1.74
2.0	0.85





Average HI Mass ( $\log M_{\odot}$ )



**Amas Abell 370,  $z=0.37$**

**[Lah et al, astro-ph/0907.1416](#) →**



# BAORadio-CRT : Concept de l'instrument

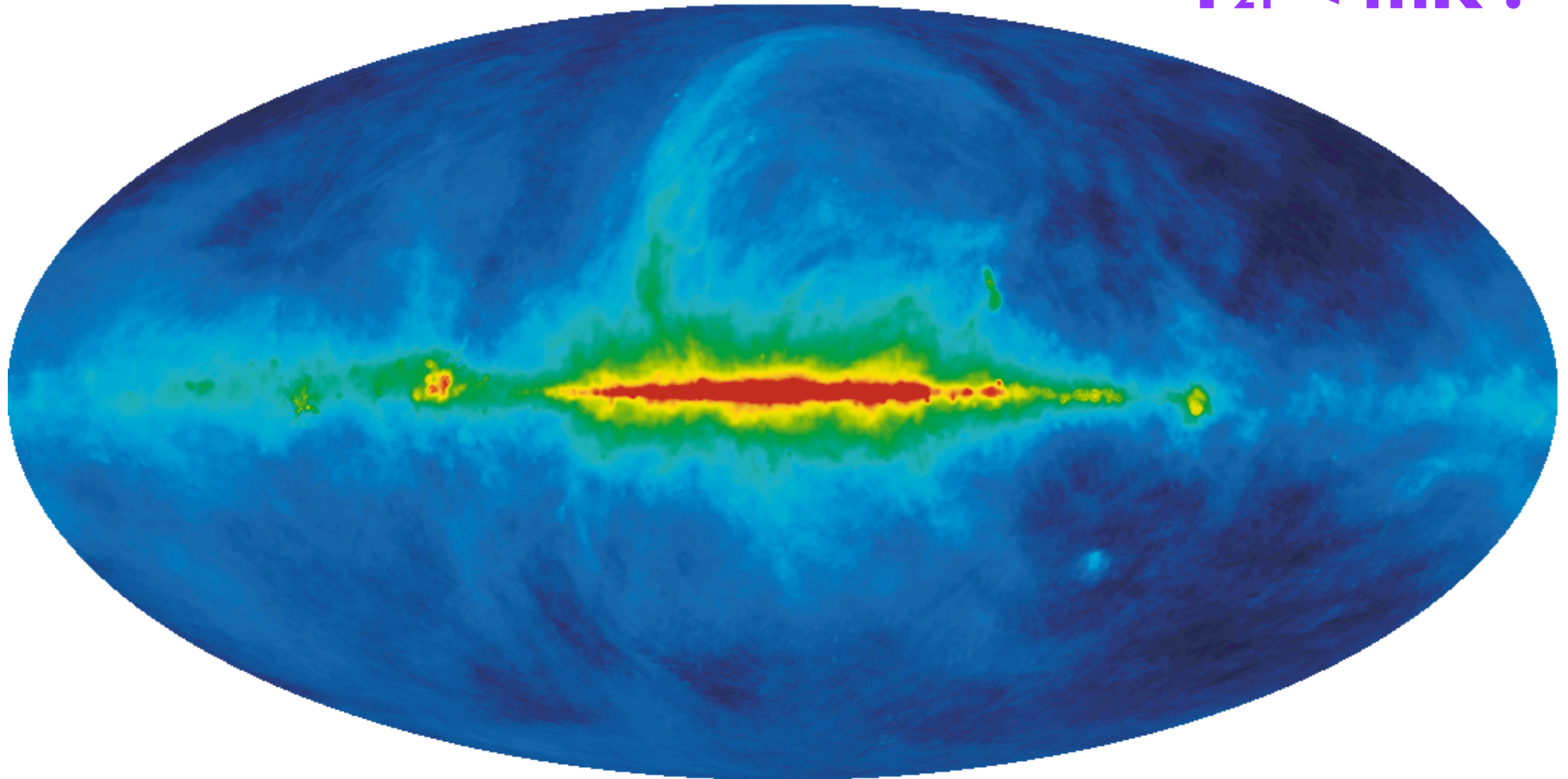
- Cartographie de la distribution de masse HI par mesure d'intensité à 21 cm (Pas de détection de source)
- Instrument de type synthèse-de-lobe/interféromètre à grand champ (10-100 deg<sup>2</sup>)
  - ➔  $\geq 1000$  lobes simultanés → Système numérique
- Récepteurs large bande (200-250 MHz) numériques
- Corrélateur/beamformer numérique : flux ~ TO/s
- Antennes (réflecteurs) à bas coût cylindriques fixes (ou petites paraboles)
- Résolution 5-10 arcmin, Surface  $\geq 10\ 000\ \text{m}^2$ 
  - ➔ Antennes réparties sur  $\sim 200\ \text{m} \times 200\ \text{m}$



# BAO avec une cartographie $T_{21}(\alpha, \delta, z)$

- ✓ Ne nécessite qu'une résolution angulaire de 10-15 arcmin
- ▶ Bruit instrumental
- ▶ Difficulté de soustraction des avant plans et des sources radio





**10 K**      **Temp. T (Ech. Log)**      **250 K**

Carte Haslam à 408 MHz (émission  
Synchrotron de la Galaxie)



# Spectre P(k) H<sub>21</sub> en température

$$T_{21}(z) \simeq 0.57 \text{ mK} \times \frac{(1+z)^2}{\sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_\Lambda}} \left(\frac{h_{100}}{0.7}\right) \left(\frac{\Omega_B}{0.04}\right) \left(\frac{f_{H_I}(z)}{0.1}\right)$$

$$P(k)_{Temp} = P(k)_{masse} \times [T_{21}(z)]^2$$

$$\text{Variance}(P(k)) = \sigma_{P(k)}^2$$

$$\sigma_{P(k)} = P(k) \times \sqrt{\frac{4\pi^2}{\delta k V_{surv}}}$$

$f_{H_I}(z)$  : fraction des baryons sous forme  $H_I \sim 0.02$

$\delta k \sim 0.01 \rightarrow D \sim 5m$

$$\text{PNoise} = \kappa \times T_{sys} \times T_{sys} \times \frac{v_{pix}}{t_{int} \delta\nu}$$

$$\kappa = \left(\frac{1}{\text{FillFactor}}\right)^2$$

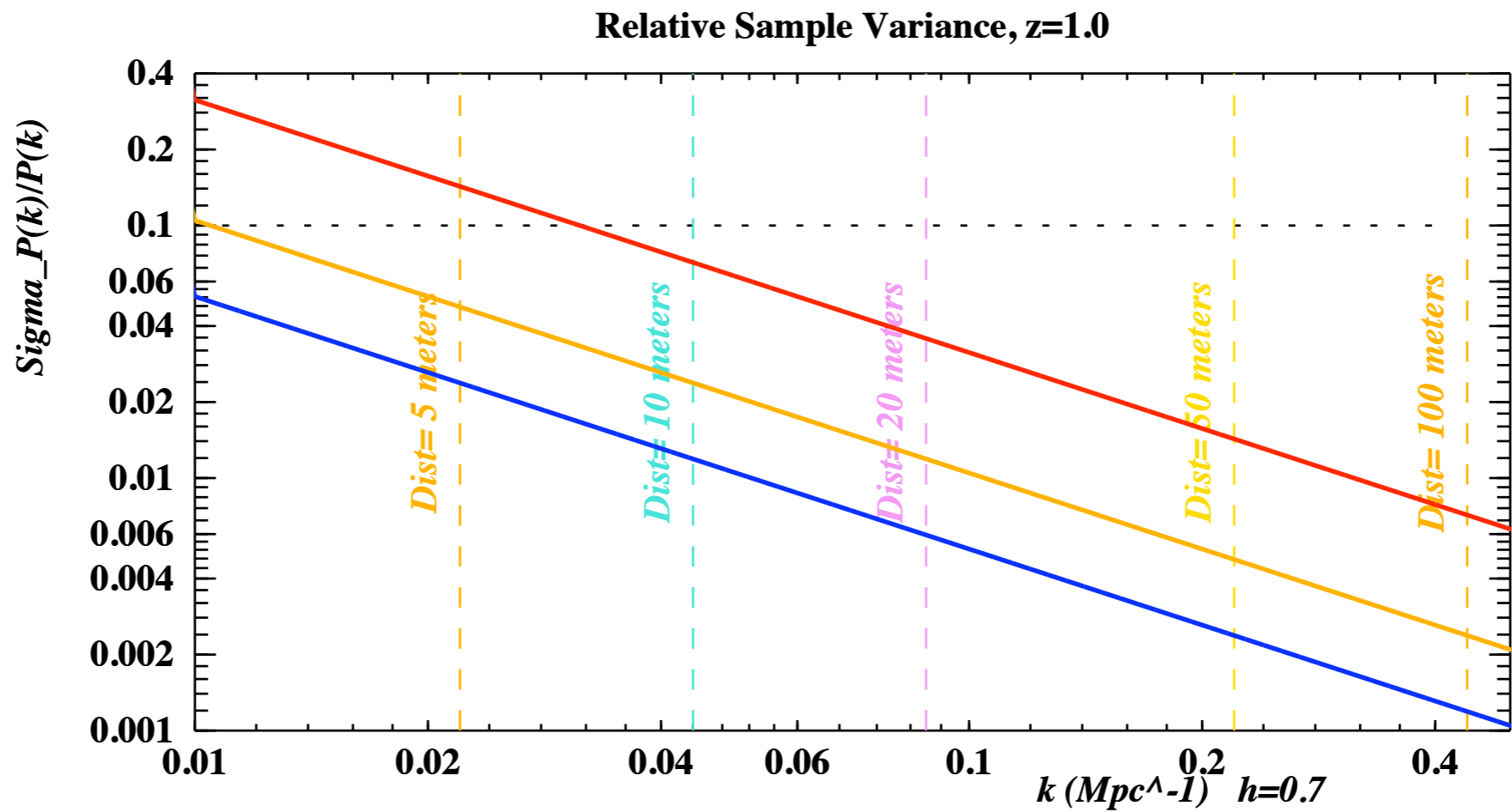
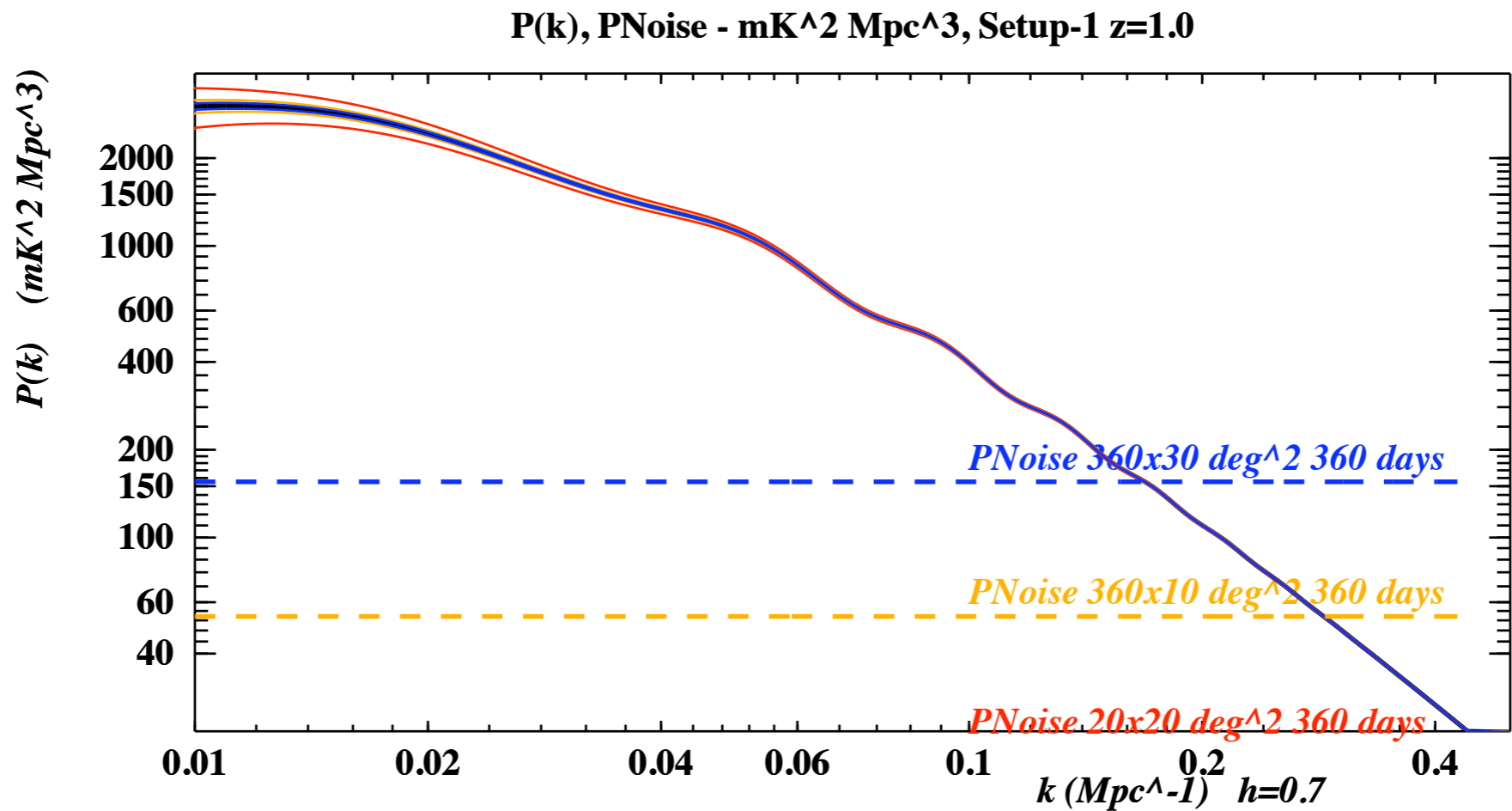
$$\text{Resolution} \simeq 5 \text{ arcmin} \quad (@z \sim 0.5)$$

$$v_{pix} \simeq 3Mpc \times 3Mpc \times 4Mpc \sim 36Mpc^3$$

$$\delta\nu = 1 \text{ Mhz}$$



**$P_{21}(k, z=1.0) - P_{\text{Noise}}(T_{\text{sys}}=50 \text{ K})$**   
 **$\text{FOV} \sim 20 \text{ deg}^2 \text{ S} \sim 10\,000 \text{ m}^2$**





# *BAO - Radio R&D en cours*

Carnegie Mellon

IN2P3

INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE  
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES



l'Observatoire  
de Paris

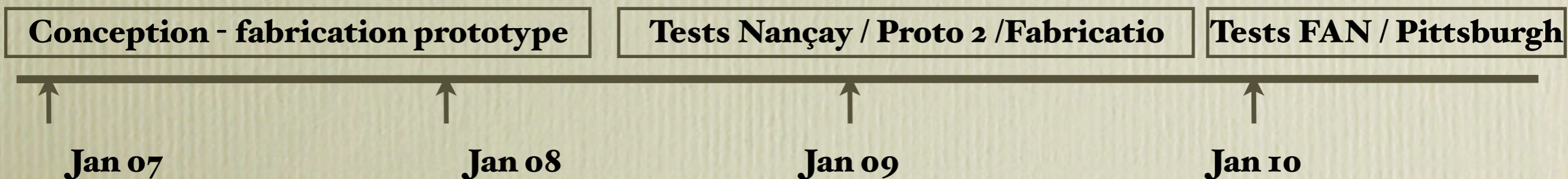
the David &  
Lucile Packard  
FOUNDATION





# Prototype CRT-BAORadio

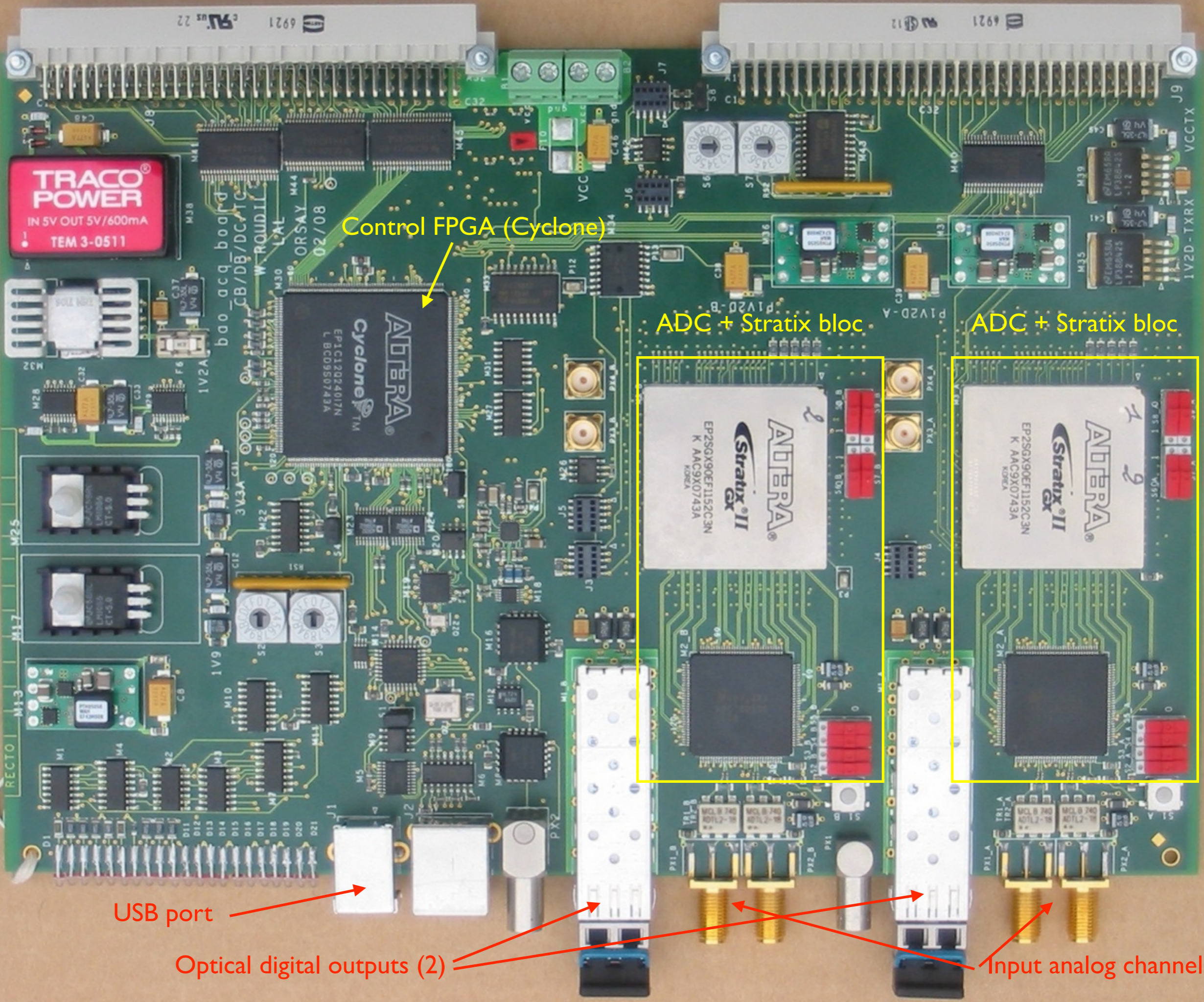
- Construction de deux réflecteurs cylindriques longxlarg  $\sim 25\text{m} \times 10\text{m}$   
- résolution  $\sim 1$  deg terminée (CMU-Pittsburgh) - 64 cartes x 4 récepteurs (dipôles) / carte = 256 dipôles, 128 / cylindre
- Etude et construction d'un prototype électronique  $\sim 32$  voies (70k€) :  
LAL + DAPNIA (filtrage, numérisation @ 500 MHz, FFT, transfert et traitement sur PC)
- Tests auprès du radiotélescope de Nançay
- Tests sur les réflecteurs cylindrique de Pittsburgh
- Equipement du proto FAN
- Faisabilité - validation de la technique reconstruction multilobe par traitement numérique. Evaluation réaliste des coûts











**TRACO POWER**  
IN 5V OUT 5V/600mA  
TEM 3-0511

Control FPGA (Cyclone)

ADC + Stratix bloc

ADC + Stratix bloc

USB port

Optical digital outputs (2)

Input analog channels (4)

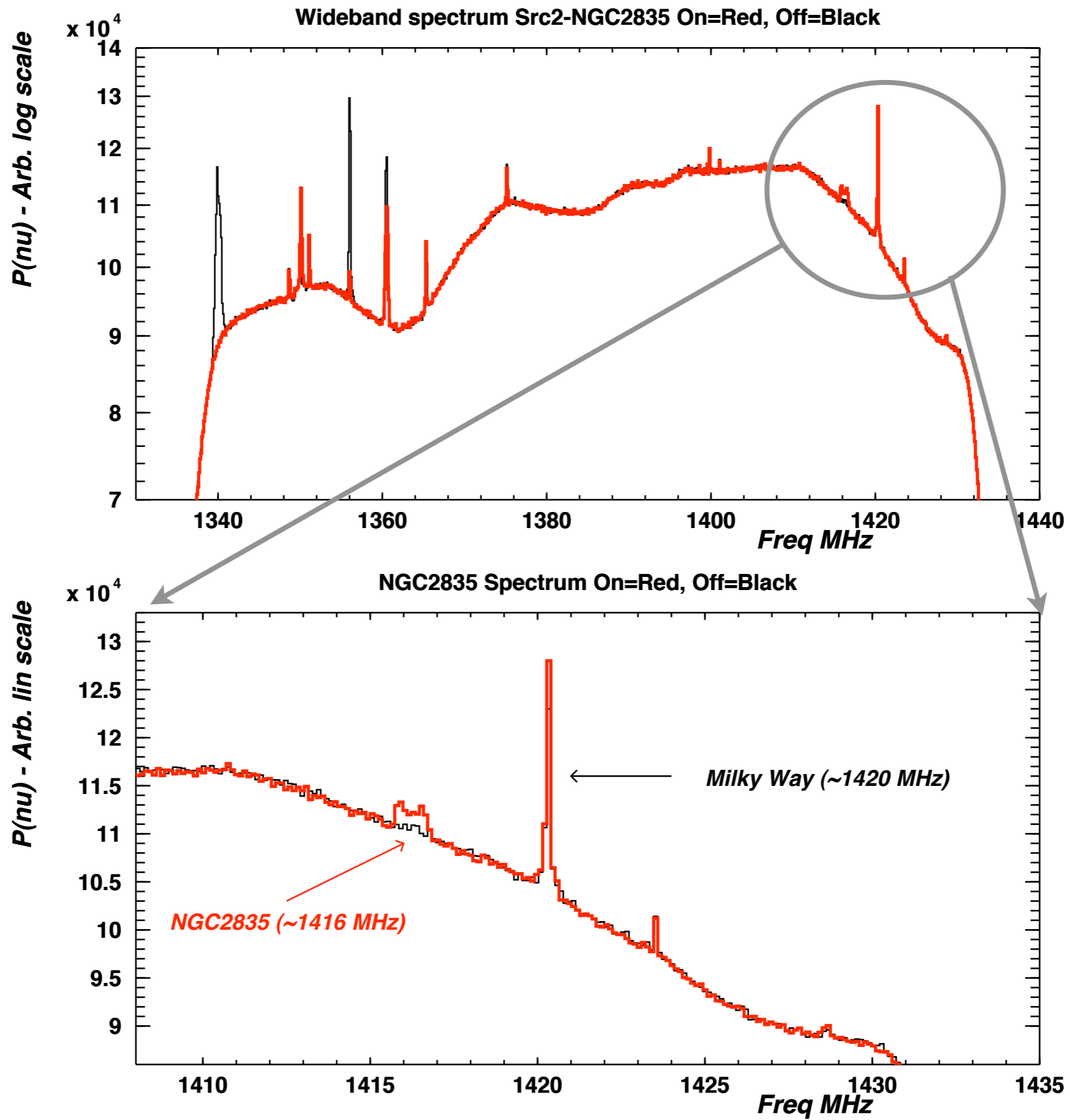
ALTERA  
Cyclone  
EP1C12024017N  
L BC09S0743A

ALTERA  
Stratix II  
EP2SGX90EF11S2C3N  
K AAC9X0743A  
KOREA

ALTERA  
Stratix II  
EP2SGX90EF11S2C3N  
K AAC9X0743A  
KOREA



# Tests at Nançay - July 2008

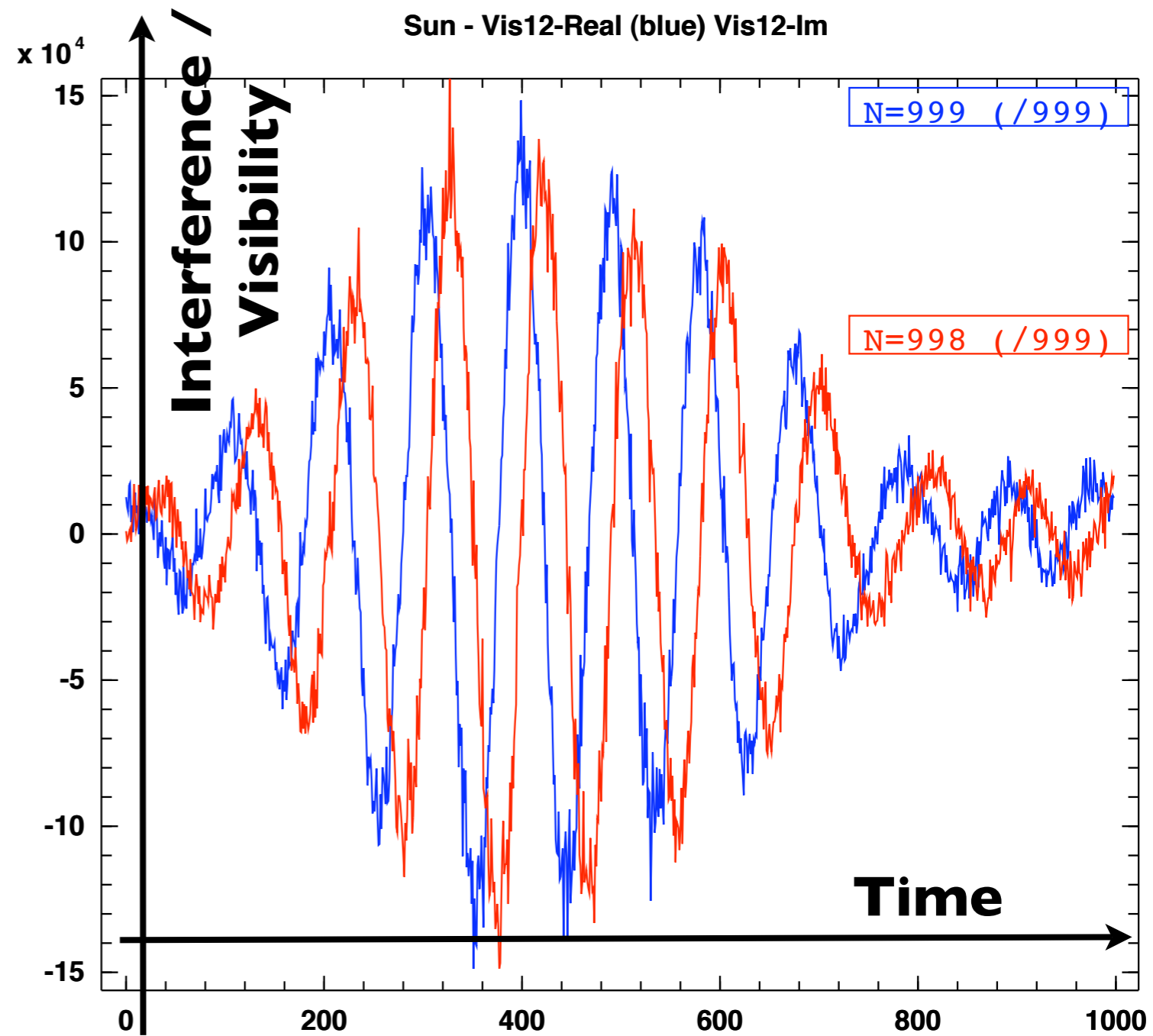
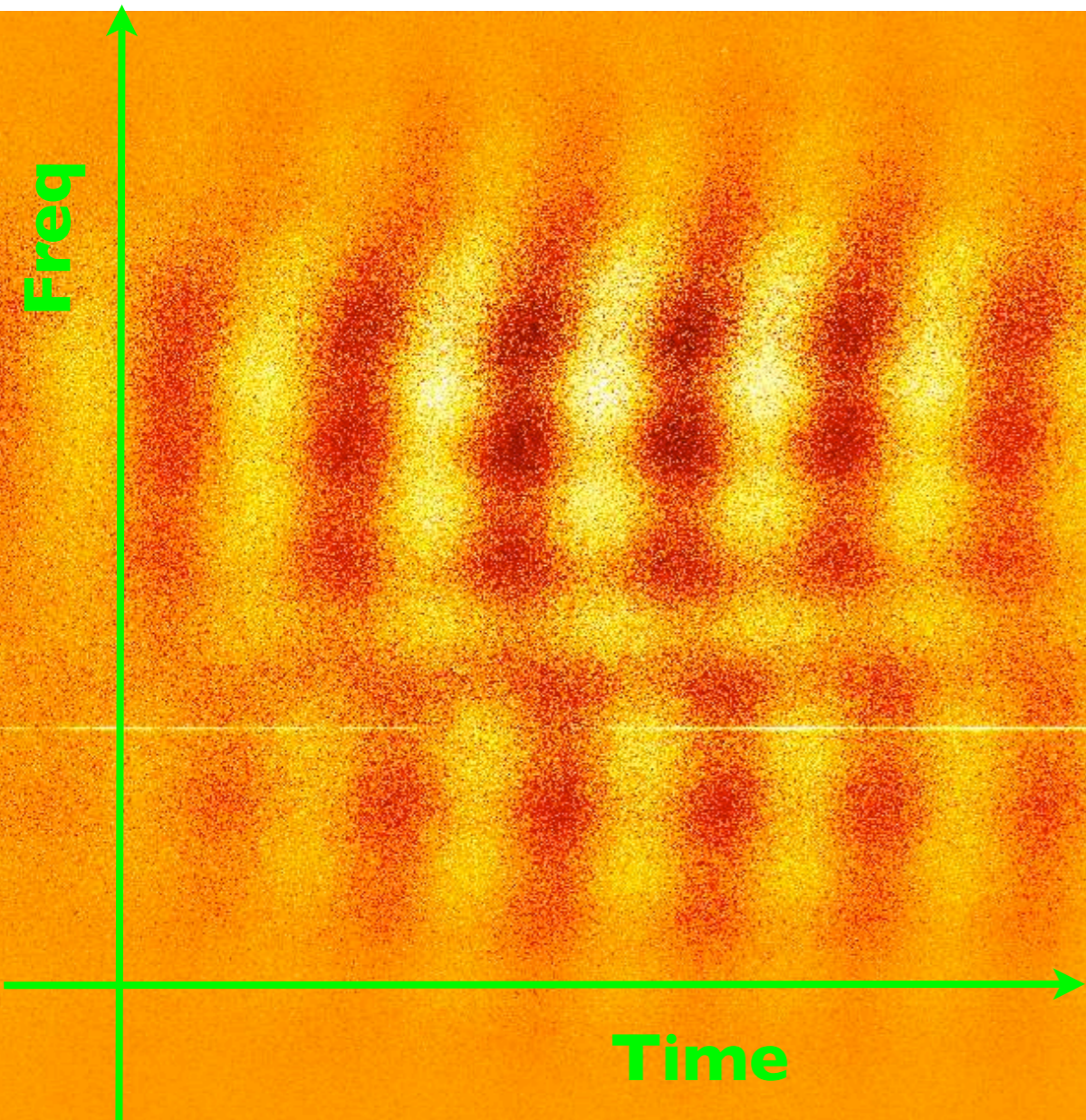








# Tests à Pittsburgh, Juin 2009





# SKA : < 100 MHz ... 20 GHz , < 1 arcsec resolution

Australian SKA Pathfinder  
700-1800 MHz , 12 m dishes

ASKAP

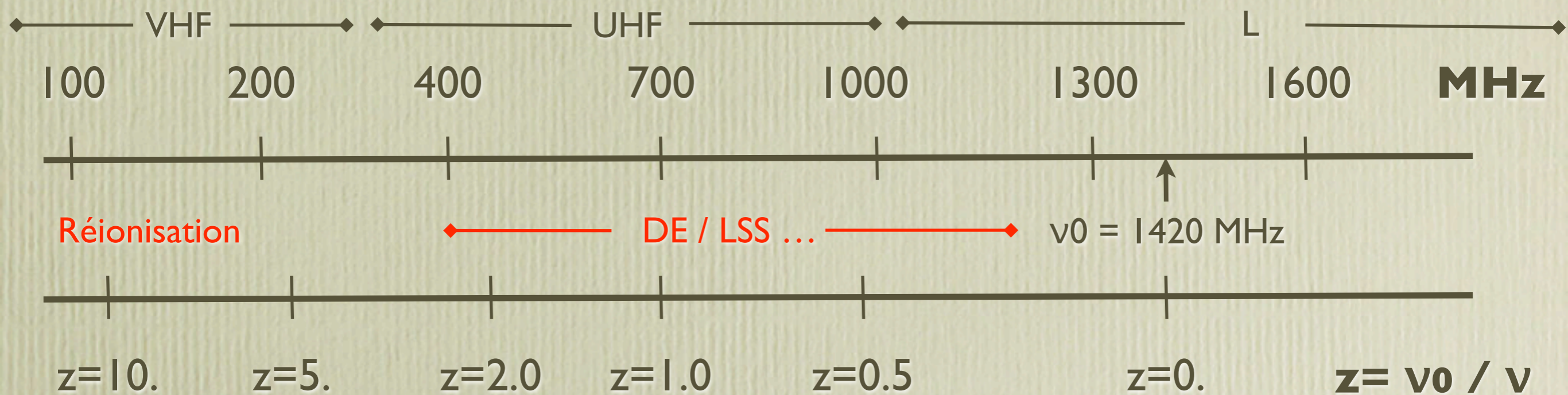
MWA

Karoo Array Telescope  
500-3000 MHz

KAT/MeerKAT

Murchinson Wide Field  
Array - 80-300 MHz

BAORadio / CRT



LOFAR

ATA (Allen Telescope Array)



# Conclusion

- Complémentarité des projets optiques / radio
- Nouvelle approche : Cartographie de l'émission de l'hydrogène neutre
- Développements techniques (électronique, FAN ...) en France, complémentaire de l'effort SKA

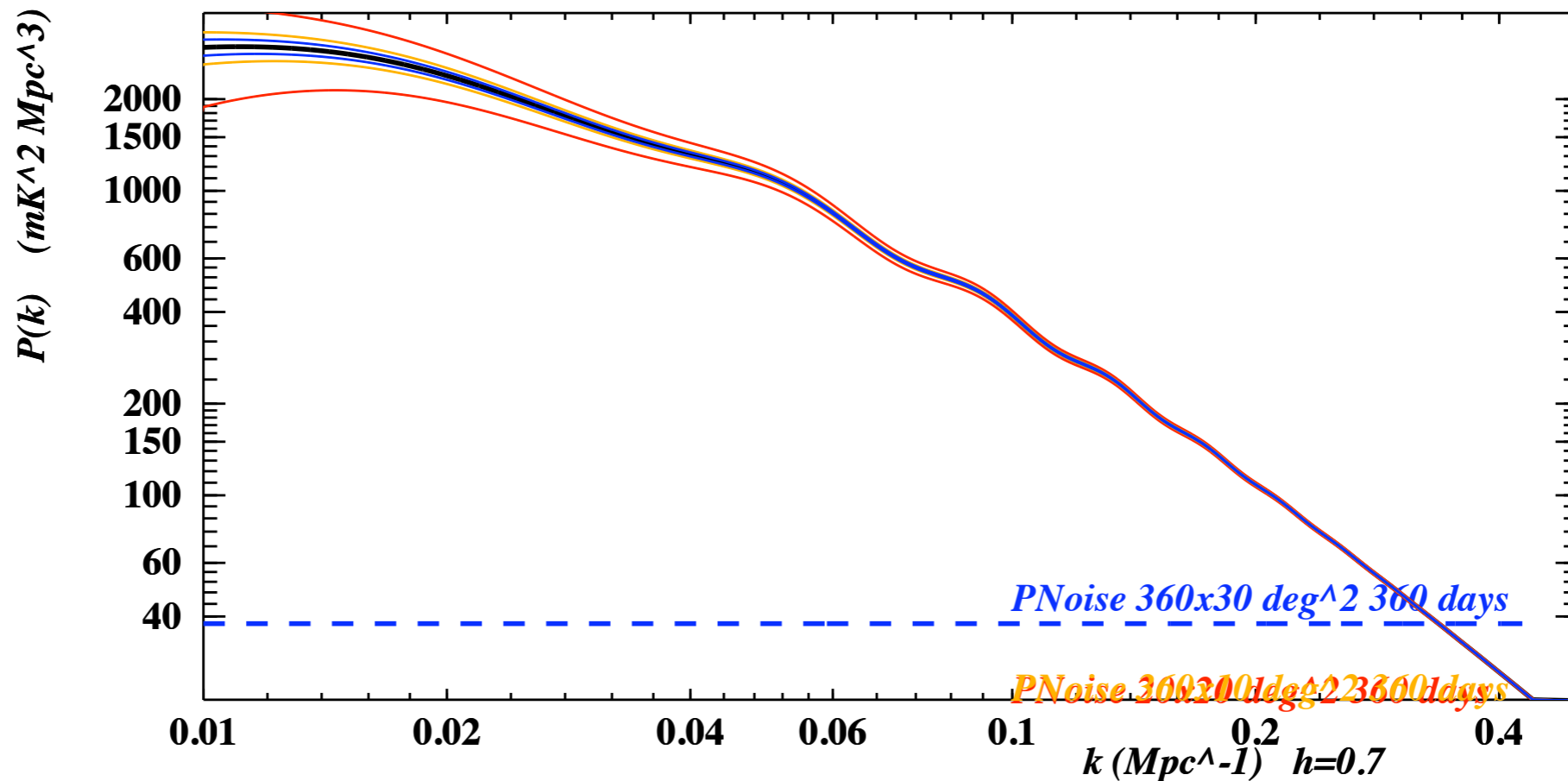


*Compléments*

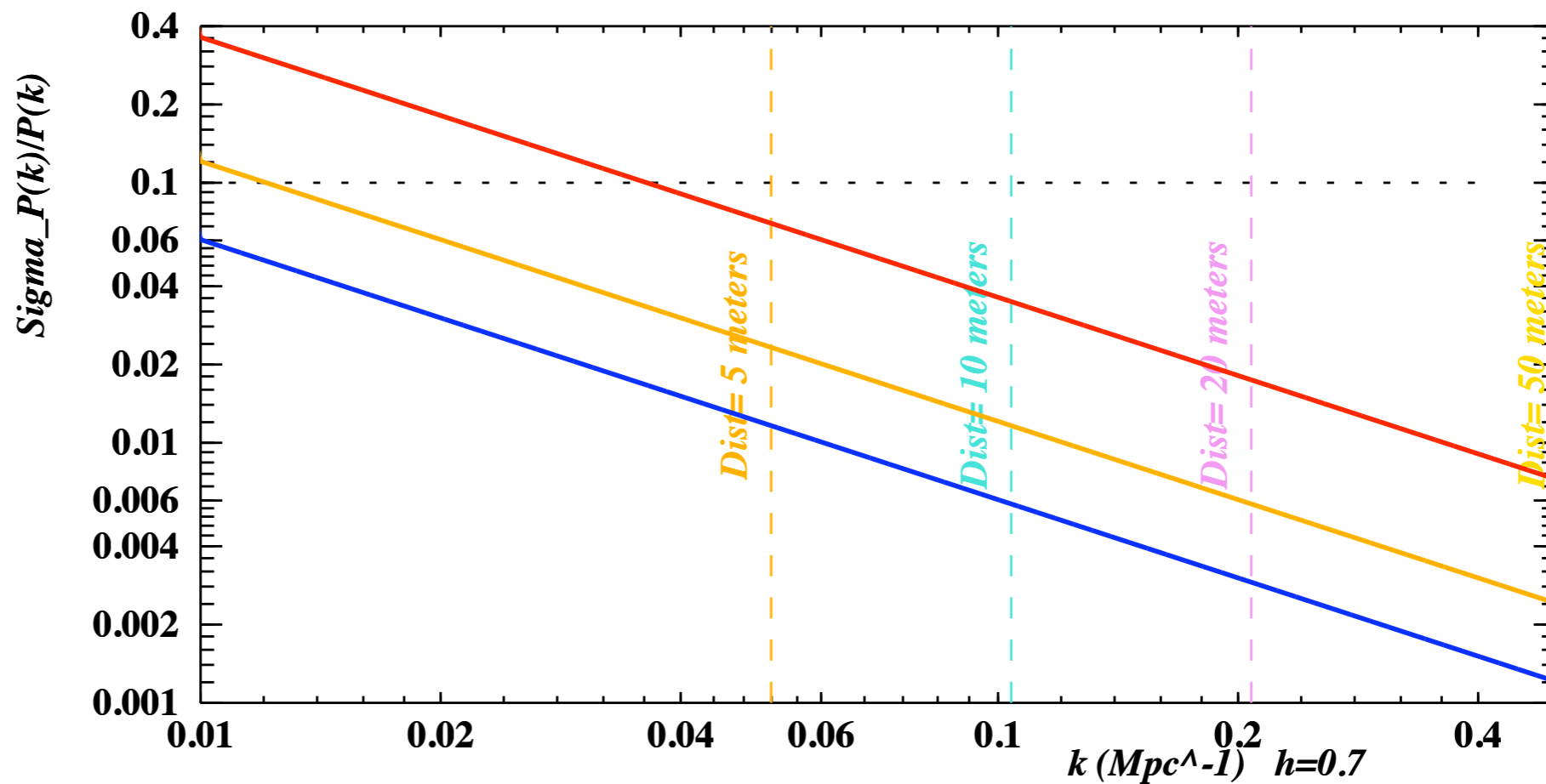


**$P_{21}(k, z=0.5) - P_{\text{Noise}}(T_{\text{sys}}=50 \text{ K})$   
**FOV  $\sim 20 \text{ deg}^2$   $S \sim 10\,000 \text{ m}^2$****

**$P(k), P_{\text{Noise}} - \text{mK}^2, \text{Setup-1 } z=0.5$**



**Relative Sample Variance,  $z=0.5$**



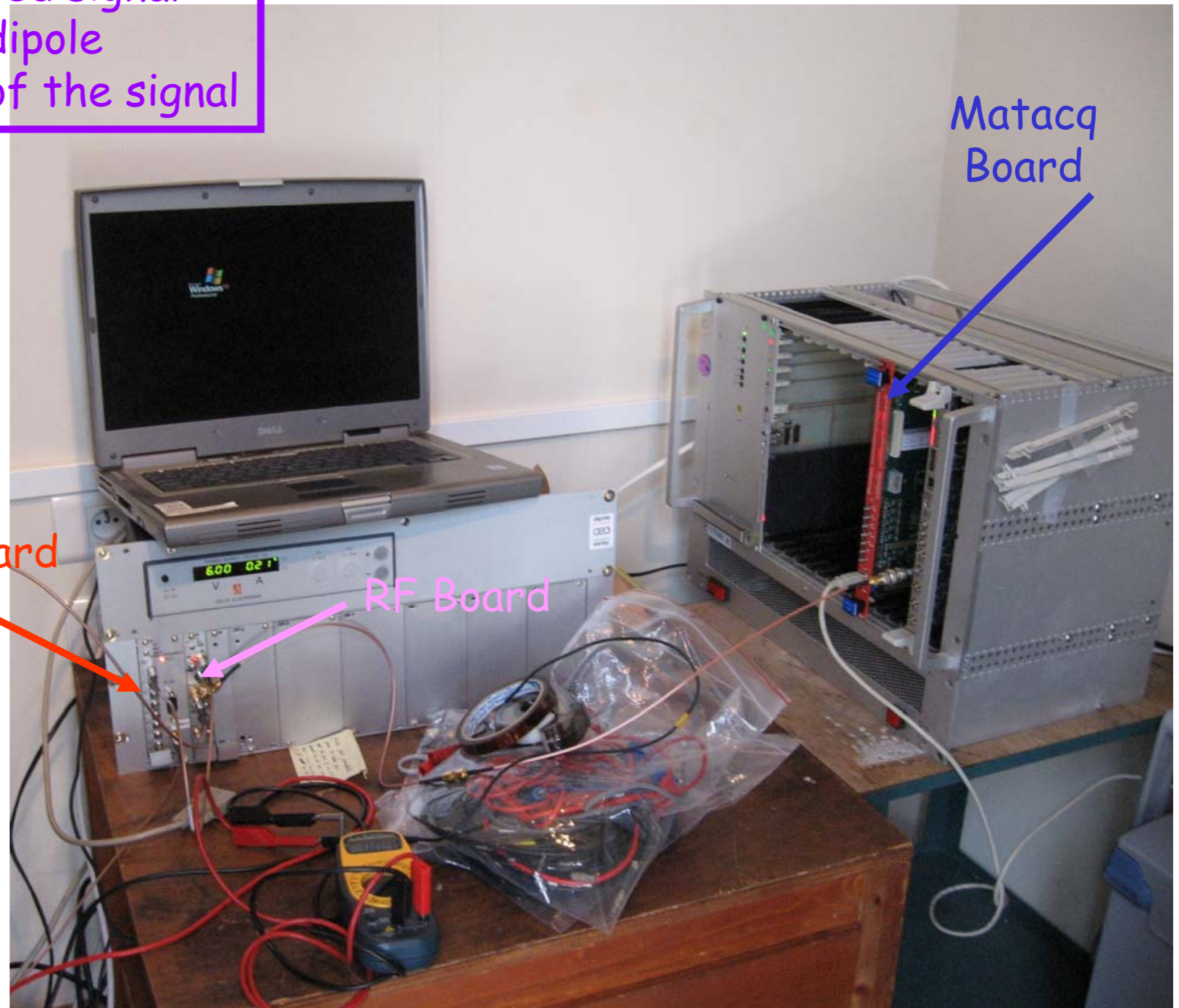


# Inside the focal carriage



Amplified signal  
from dipole  
 $\sim 1/10$  of the signal

Nançay electronics  
crate



LO Board

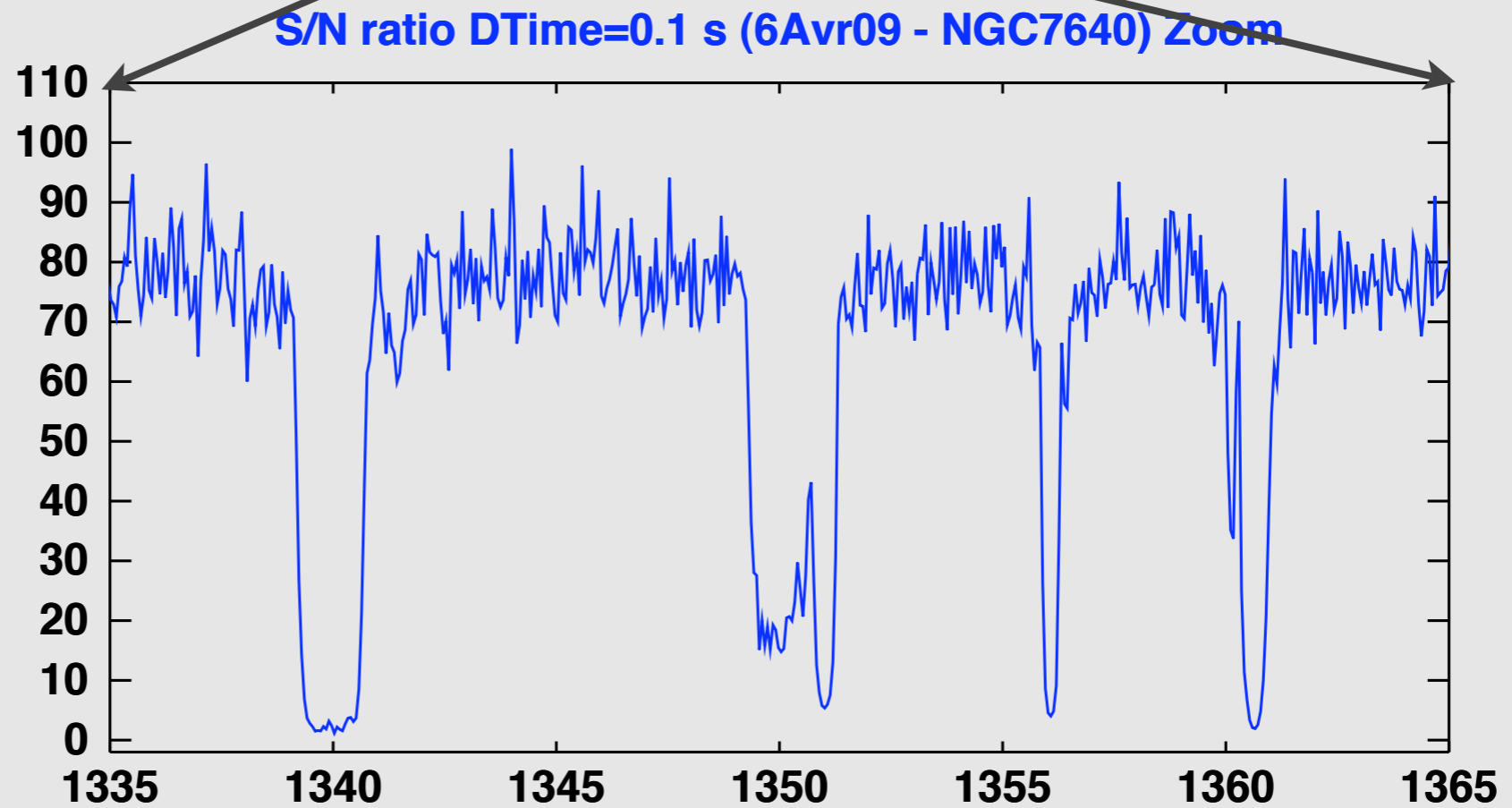
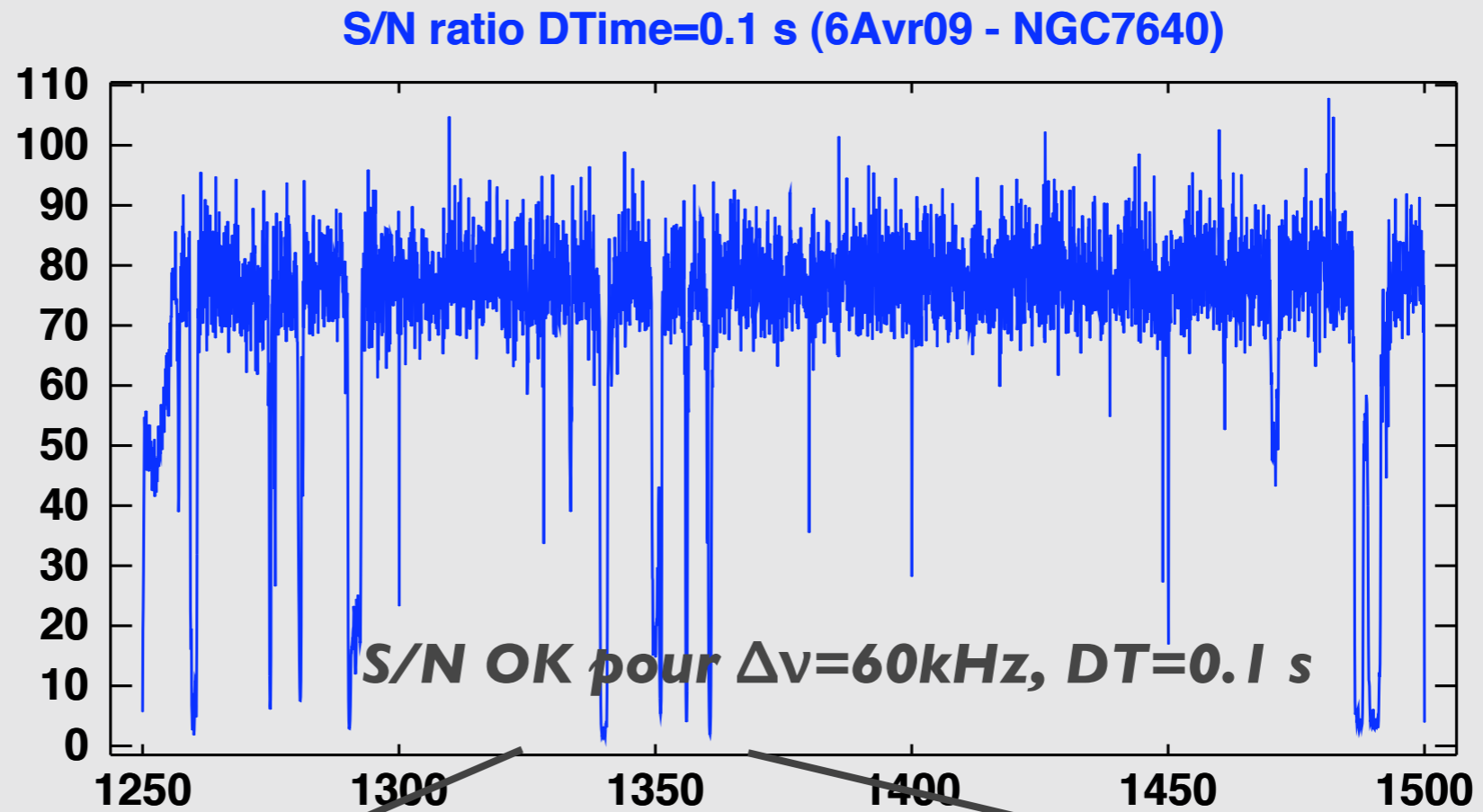
RF Board

Maticq  
Board



**Données NRT avec électronique  
BAORadio sur NGC7640**

**Rapport S/N 1250 ... 1450 MHz**

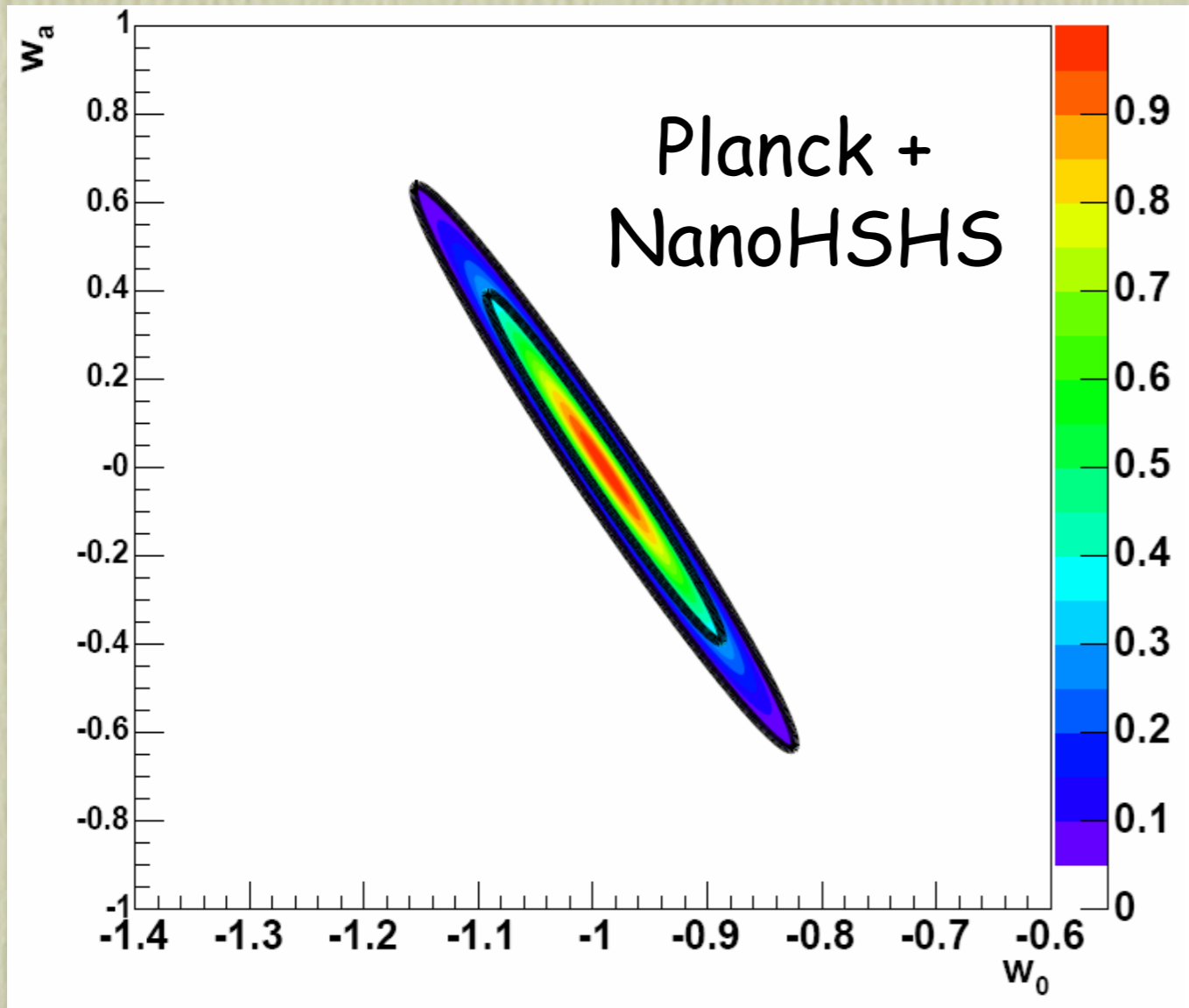




# Sensibilité BAORadio

$$S \sim 10000 \text{ m}^2$$

Preliminary



$$FOM = \frac{1}{\sigma(w_a)\sigma(w_0)\sqrt{1-\rho^2}}$$

- DE :  $p = w(z) \rho$
- $w(z) = w_0 + w_a z/(1+z)$
- $\Lambda$ CDM, Determination (Minuit fit) of  $(w_0, w_a, h, \Omega_m, \Omega_b)$  to  $k_{\parallel}$  and  $k_{\perp}$ , Acoustic horizon :  $a_s$
- $k_{\parallel}(z) \sim c / H(z) / a_s$
- $k_{\perp}(z) \sim a_s / D_A(z)$
- 8 slices  $0 \leq z \leq 1.6$
- Fisher matrix error analysis
- $\sigma(w_0) \sim 0.05, \sigma(w_a) \sim 0.05$  for an H21-radio survey