

Roscoff; 13-21 juin 2007

## Détecteurs bolométriques refroidis: 2. Applications



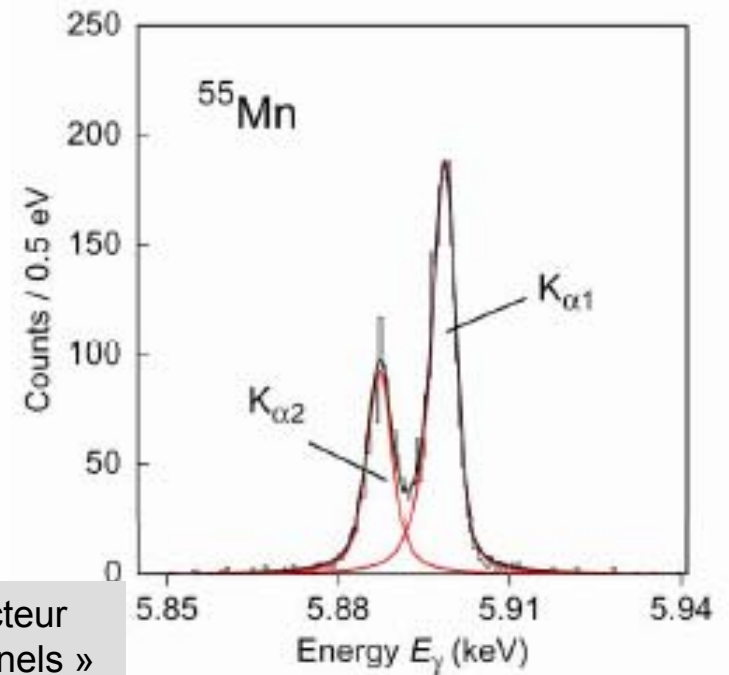
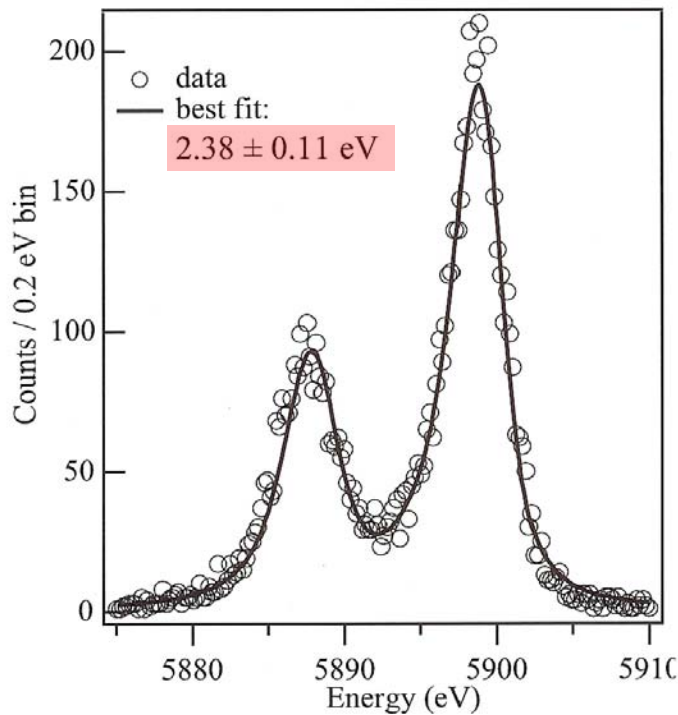
## Applications des bolomètres:

- En spectroscopie
  - X
  - $\gamma$
  - $\alpha$
  - Ions lourds
- En physique fondamentale
  - Rayonnement fossile cosmologique (CMB): Archéops ; Planck-HFI
  - Masse du neutrino
  - Recherche d'événements rares
    - Double bêta sans neutrino
    - Détection de la Matière noire
      - Avec discrimination « Charge & chaleur »: CDMS (US) ; EDELWEISS (Fr)
      - Avec discrimination « Lumière et chaleur »: CRESST (All.); ROSEBUD (Fr, Es)
    - Désintégrations rarissimes
- Tendances: polarisation du CMB, matrices

# □ spectroscopie X



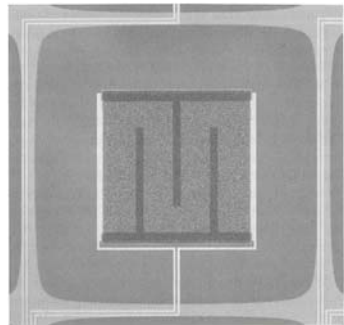
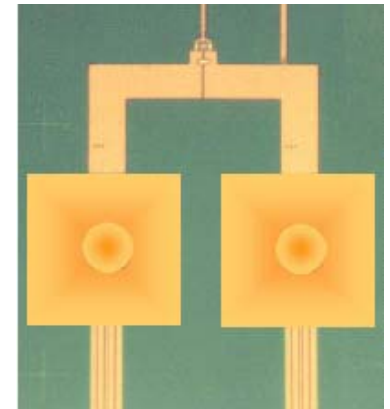
# Spectroscopie X très haute résolution...monopixels



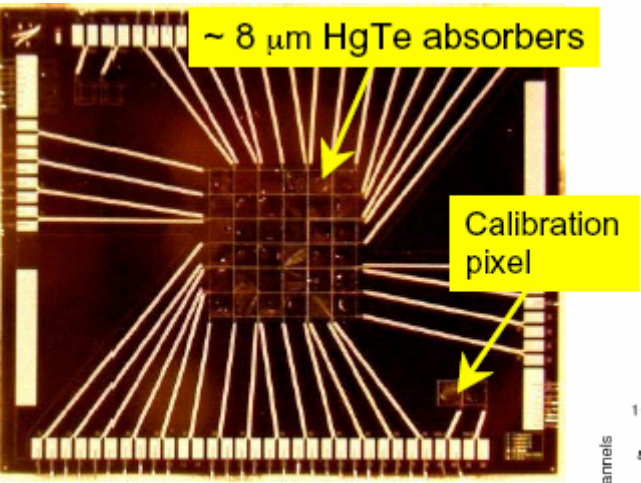
Rappel: les détecteur Si(Li) « conventionnels » plafonnent à 110eV !

- bolomètre semi-métallique à lecture TES (Mo-Cu); 100mK
- Cible Bi  $250 \times 250 \times 1.5 \mu\text{m}^3$
- $\tau \approx 230 \mu\text{s}$
- NIST, Boulder, Colorado

- bolomètre métallique à lecture magnétique (Au:Er); T=35mK
- Cible Au  $160 \times 160 \times 5 \mu\text{m}^3$
- $3.4 \text{ eV @ } 6 \text{ keV}$
- $\tau \approx \text{ms}$ ; efficacité >98 %
- KIP Heidelberg



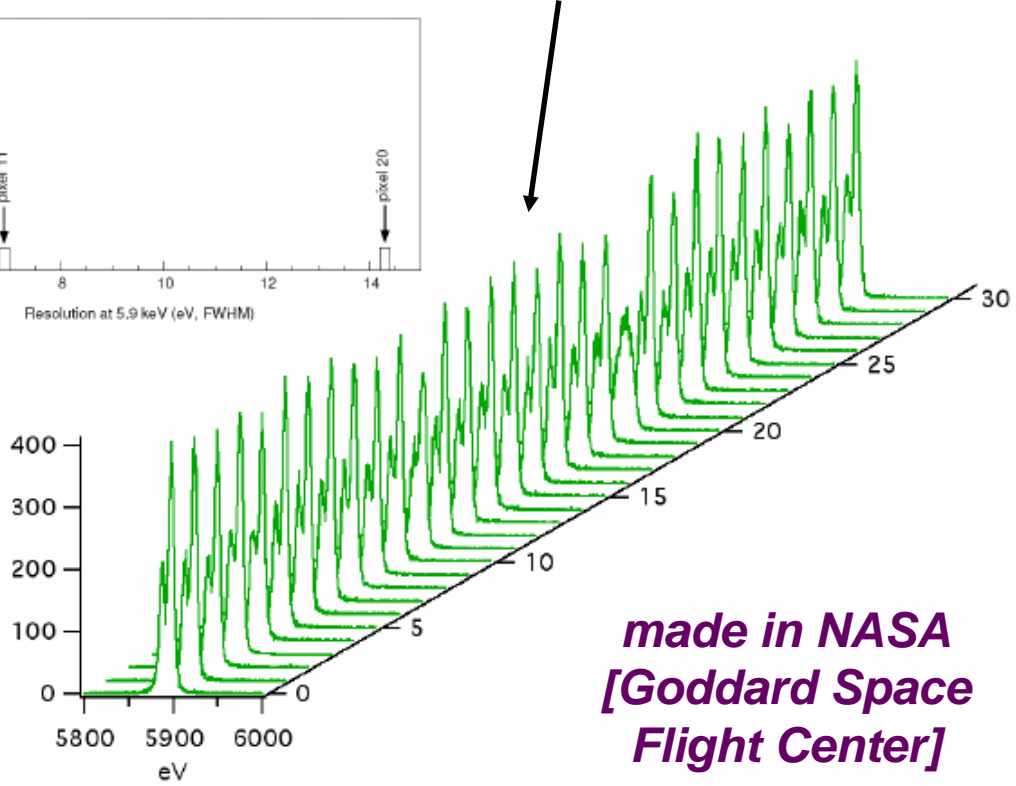
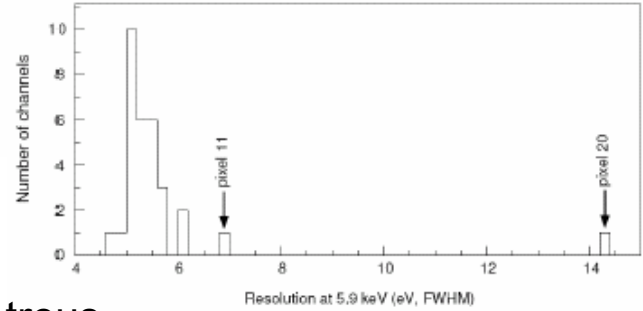
# Spectroscopie X: matrice 6 x 6 de l'instrument XRS



- matrice 6x6 à bord de Suzaku (ex Astro-E2)
- télescope: miroir en incidence rasante
- thermométrie Si implanté; T=60mK
- résolution moyenne:  $\Delta E=5.5$  eV FWHM @ 5.9 keV

Pixels are 625  $\mu\text{m}$  square, or 30"

- lancé le 10 juillet 2005
- objectifs: amas de galaxies, trous noirs, SuperNovae
- premier satellite à T<100mK dans l'espace (ADR+cryocooler+Néon solide) !



*made in NASA  
[Goddard Space  
Flight Center]*

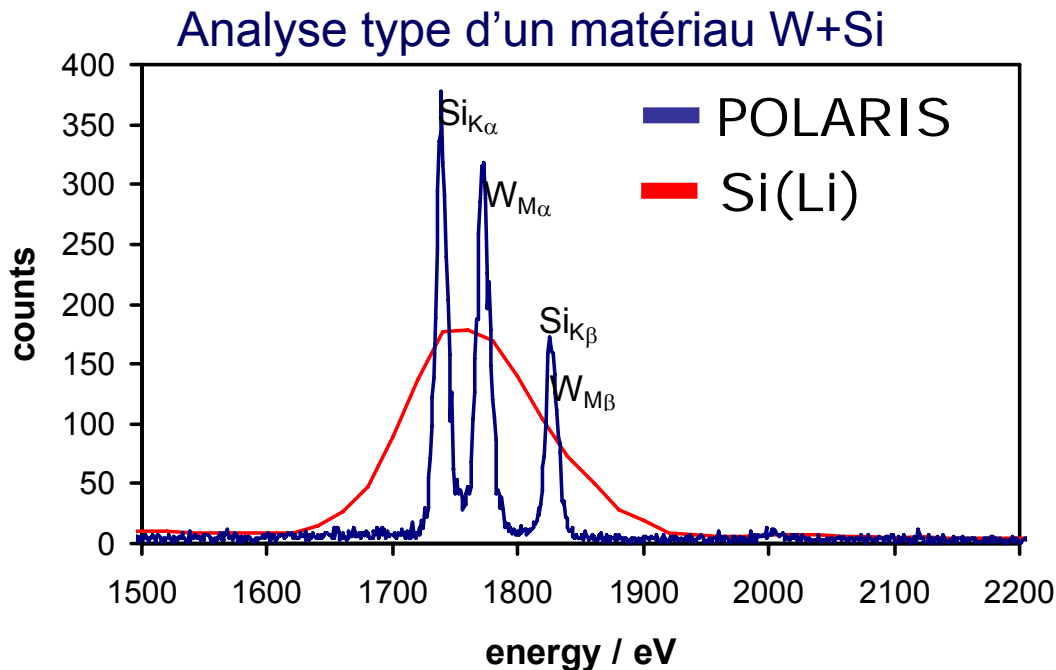
Note: pb. cryogénique  
3 semaines après le lancement  
→ XRS s'est réchauffé !





# Analyse par fluorescence X: offre commerciale

- POLARIS® (VeriCold technologies)
- Spectroscopie X (< 5 keV)
- Adaptation directe sur MEB (Microscope Electronique à Balayage)
- Résolution 15eV @ 1.5 keV
- ADR 100mK sans fluide cryogénique
- Microcalorimètre X à TES



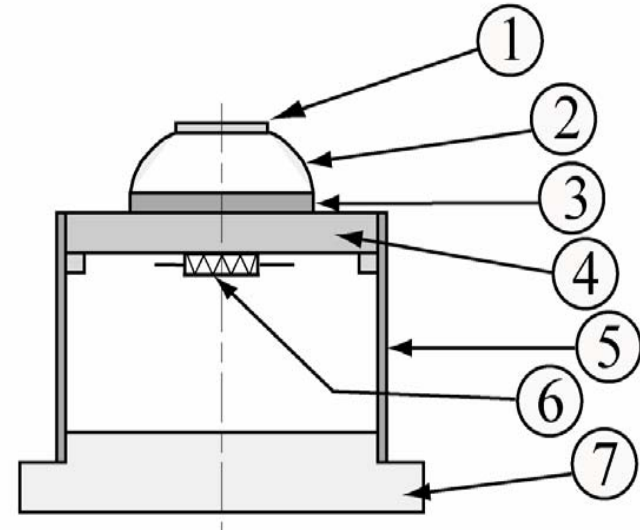
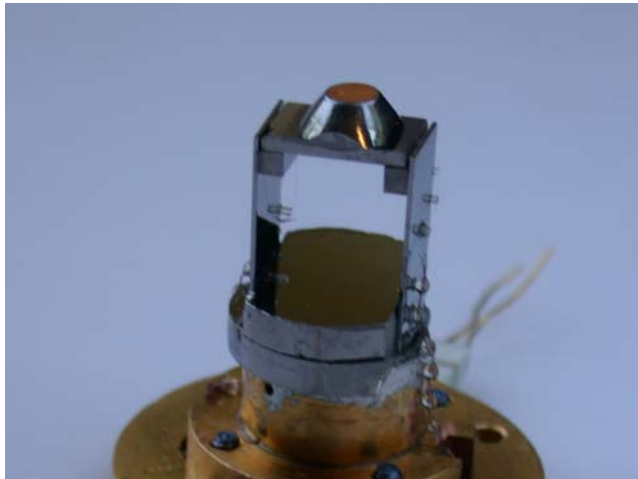
Coût ≈ 500 k€

# □ spectroscopie $\alpha$

Collaboration IAS & CEA/ LNE-LNHB  
(Lab. Nat. Henri Becquerel)



Bol#300 : cible Cu



✓ Dynamique élevée

500 eV-10MeV

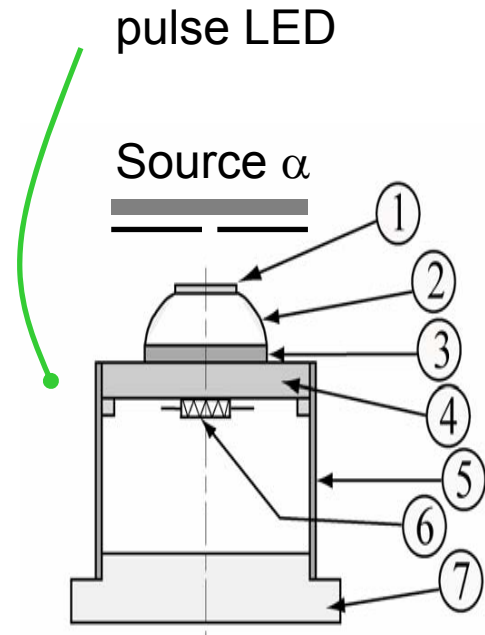
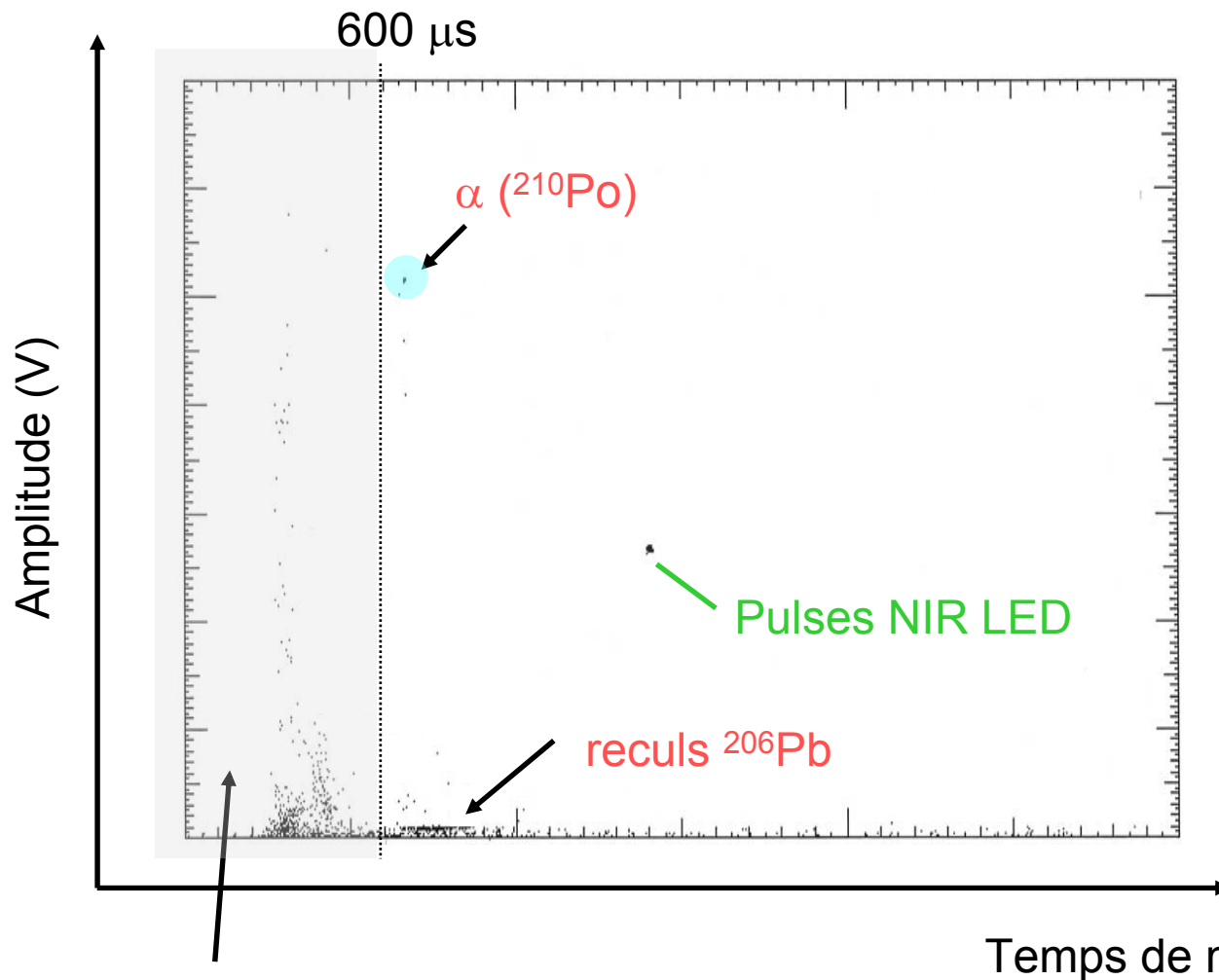
✓  $T_{\text{bolo}} \approx 50\text{mK}$  ;  $R_{\text{bolo}} \approx 50\text{k}\Omega$

✓ cible démontable

1. Cu ( $\varnothing$  2,6 mm ; épaisseur 22 microns)
2. Ge
3. Cire
4. Ge-NTD ( $8 \times 5 \times 0,9\text{mm}^3$ )
5. Ge (fuite thermique)
6. Résistance chauffante
7. Support Ge



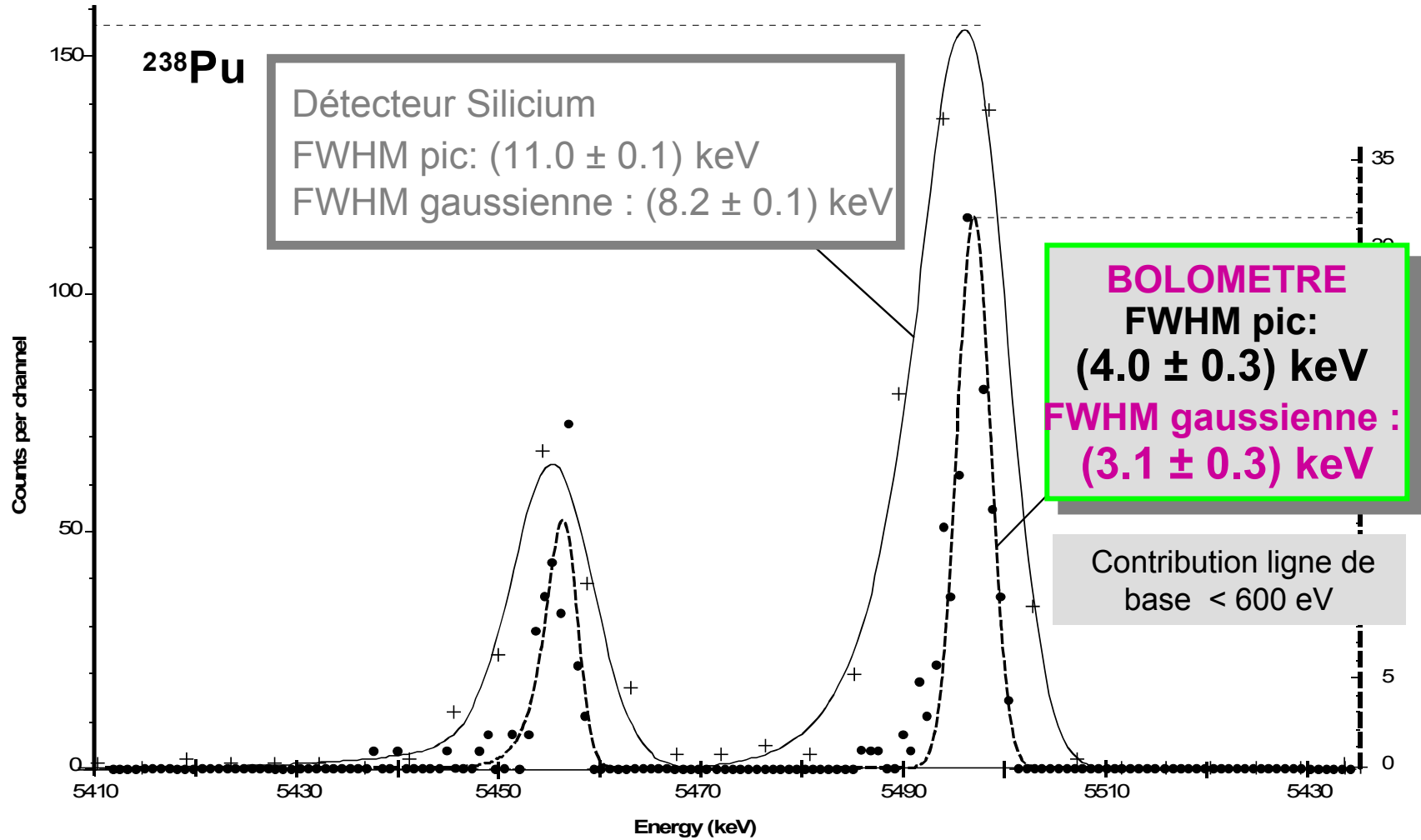
# spectroscopie $\alpha$ 2. temps de montée du bolomètre Cu

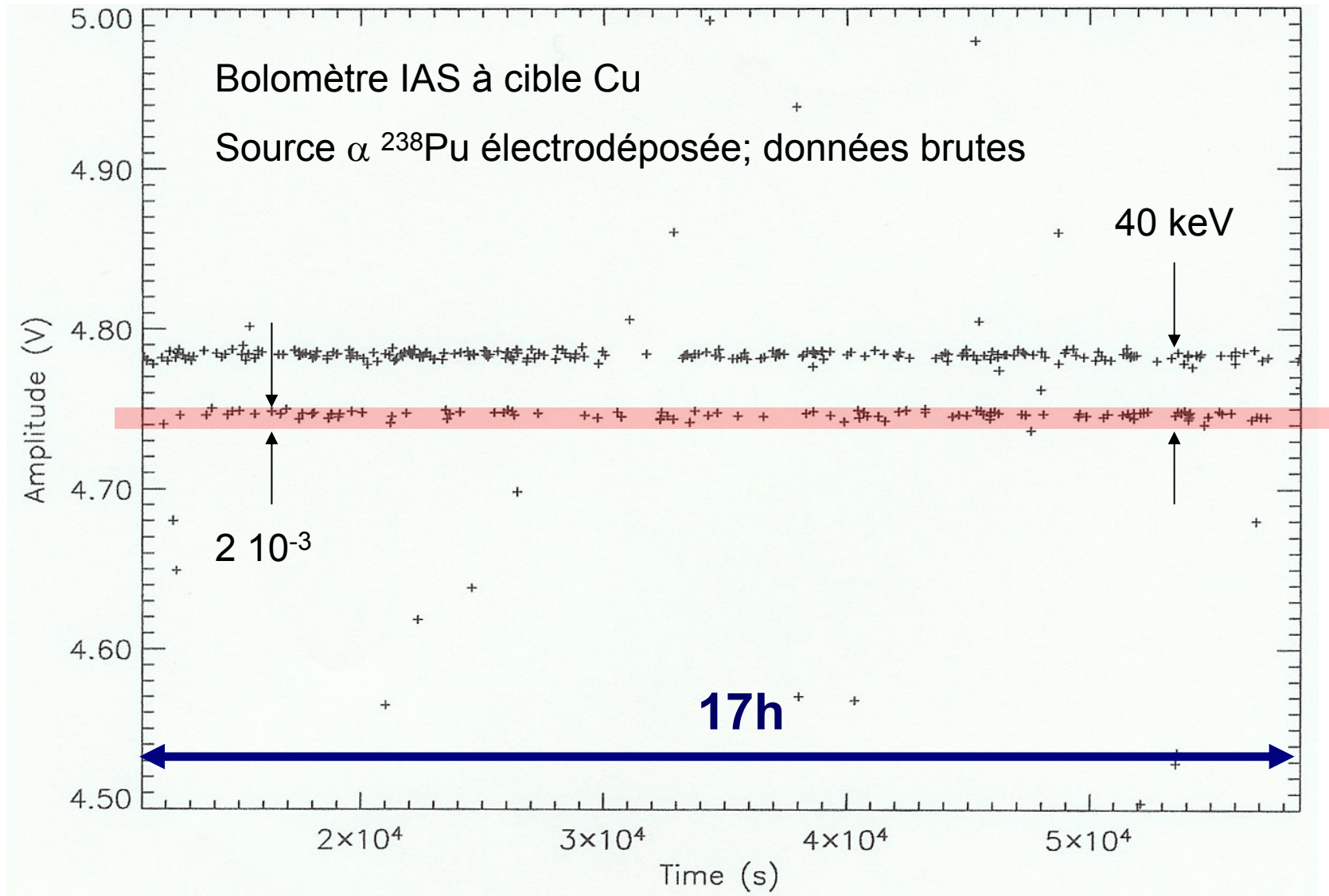


$^{210}\text{Po}$  source, données brutes (novembre 2005)

# spectroscopie $\alpha$ 3. source $^{238}\text{Pu}$ électrodéposée

Meilleur spectre alpha jamais obtenu avec une source externe et un détecteur solide !  
(  $\rightarrow$  *Elvire Leblanc et al.; CR de ICRM 2005, 5-9 sept. 2005* )

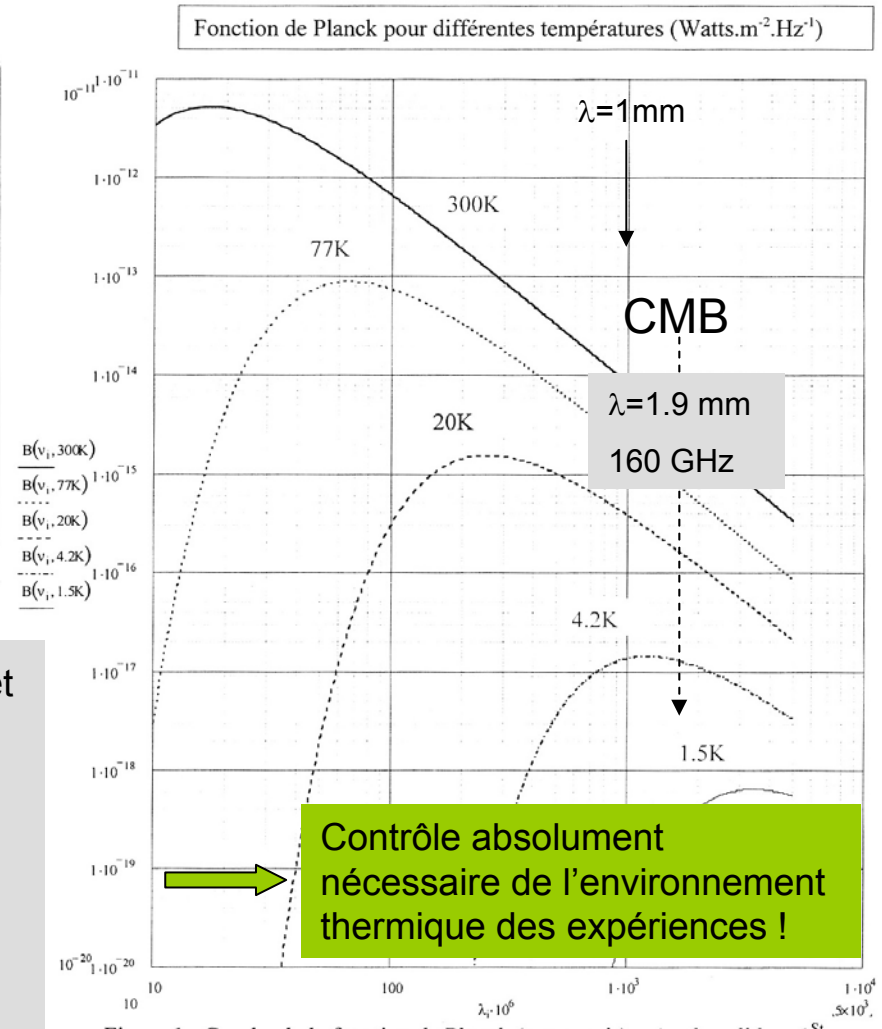
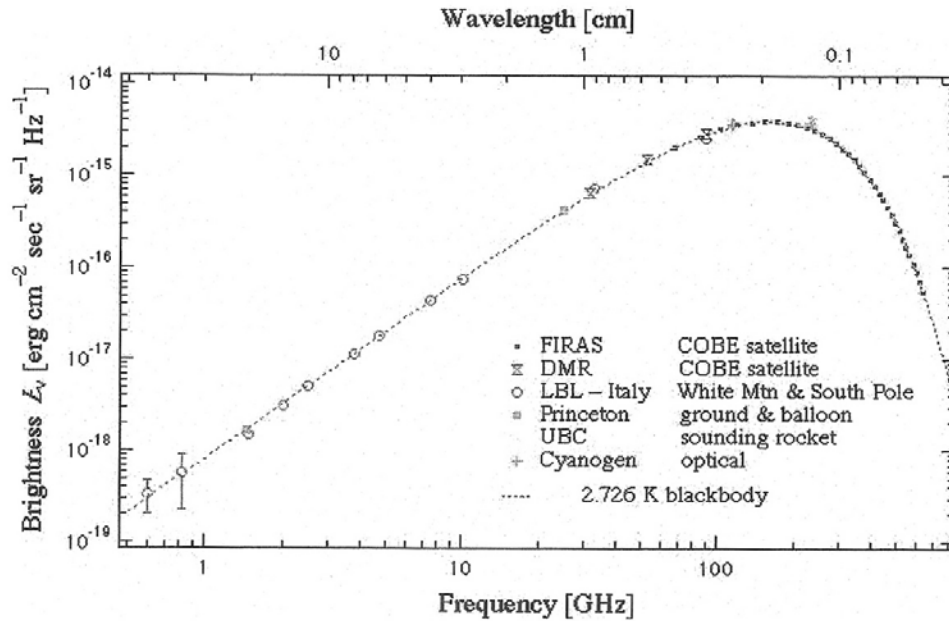




# □ Rayonnement fossile cosmologique (CMB)



# CMB: le corps noir était presque parfait



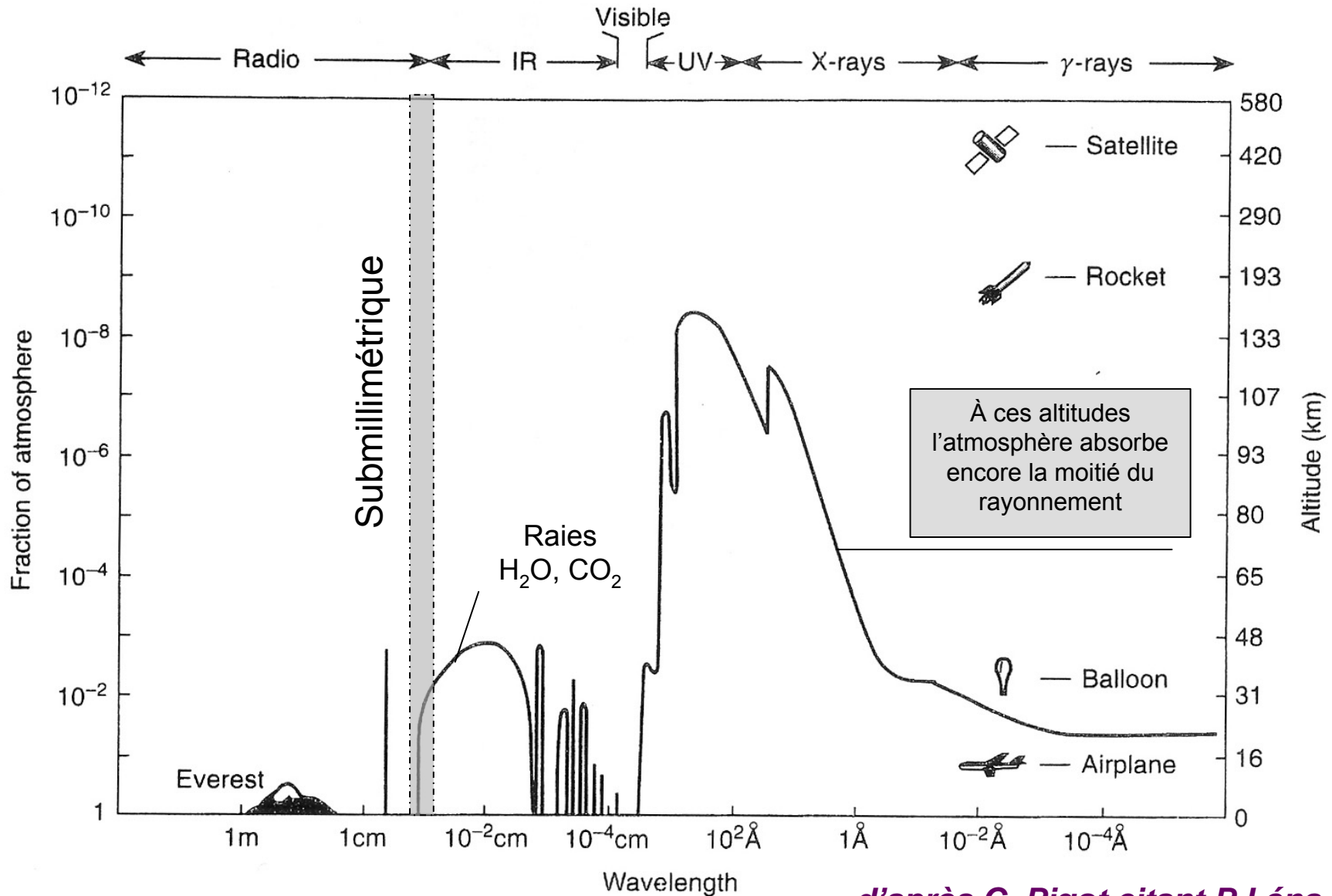
- Corps noir à 2.726K; un des piliers du Big-Bang & objet d'étude essentiel pour la cosmologie
- Extrêmement homogène !
- produit à un redshift  $Z=1000$  quand l'Univers était âgé de  $\approx 380\,000$  ans (découplage matière-rayonnement)
- Anisotropies détectées  $\Delta T/T \approx 10^{-5}$ : leur croissance permet d'expliquer la formation des structures actuelles

Figure 1 : Graphe de la fonction de Planck (corps noir) – Angle solide =  $1\text{St}$

d'après Bruno Mafféi et Jacques Delabrouille (Ecoles d'automne)



# CMB: l'appel de l'espace

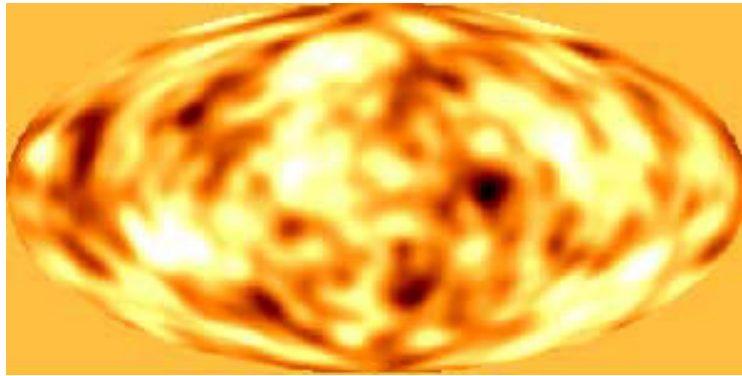


*d'après C. Pigot citant P.Léna*





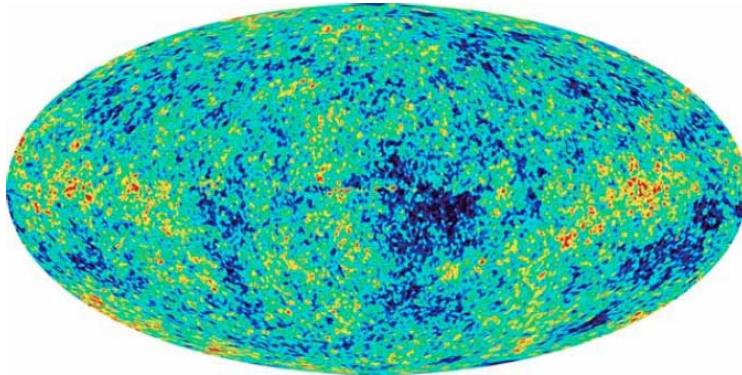
# Cartes des anisotropies du CMB



COBE (1989)

7°

Détecteurs

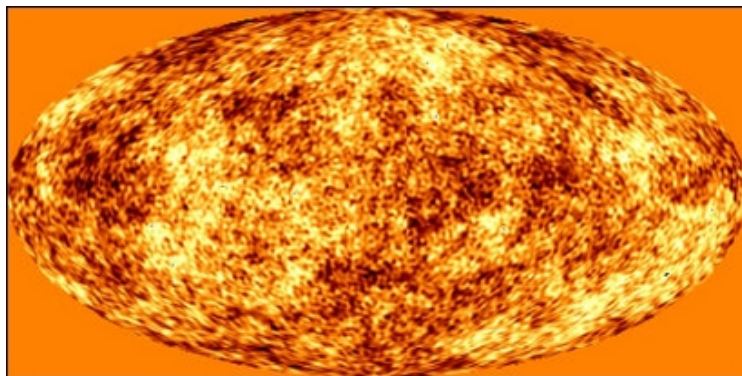


WMAP (2001)

12'

Avènement de la cosmologie de précision...

radiomètres



Planck (2008 ?)

5'

Planck-LFI

Planck-HFI

**bolomètres**

simulation !

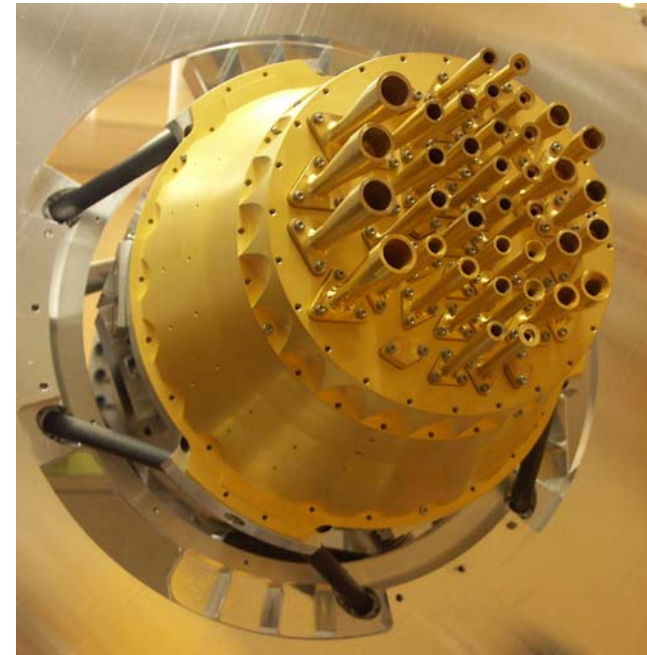


## ✓ Performances des détecteurs de Planck-HFI

- Sensibilité dominée par le bruit de photon du CMB
- $\approx 1000$  fois plus sensible que COBE
- $\approx 20$  à  $30$  fois plus sensible que WMAP
- **52 bolomètres à 100 mK**
- une technologie éprouvée par **Archéops** (manip ballon stratosphérique)

## ✓ Caractéristiques du relevé Planck

- Résolution spatiale améliorée
- Signal / Bruit par pixel  $\uparrow$  (jusqu' à x10)
- Mesures de la polarisation du CMB



Planck-HFI  
modèle de qualification « CQM »

Consortium Planck-HFI (PI: Jean-Loup Puget @ IAS; mission ESA)

Caltech, CITA (Ca), CESR, CRTBT, CdF-APC, CEA, DSRI (DK), LPAC(UK), IAOP, LAOG, IoA (UK), JPL(USA), LAL, MPI(D), MRAO(UK), NUI(IR), Cardiff Univ. (UK), RAL(UK), ESA-SSDE(NL), Univ. Genève(CH), Univ. Grenada(E), Univ. LaSapienza(It)

- HFI : High Frequency Instrument 100 GHz à 857 GHz **(6 Bandes)**
- LFI : Low Frequency Instrument 30 GHz à 70 GHz (3 bandes)

SUMMARY OF PLANCK INSTRUMENT CHARACTERISTICS

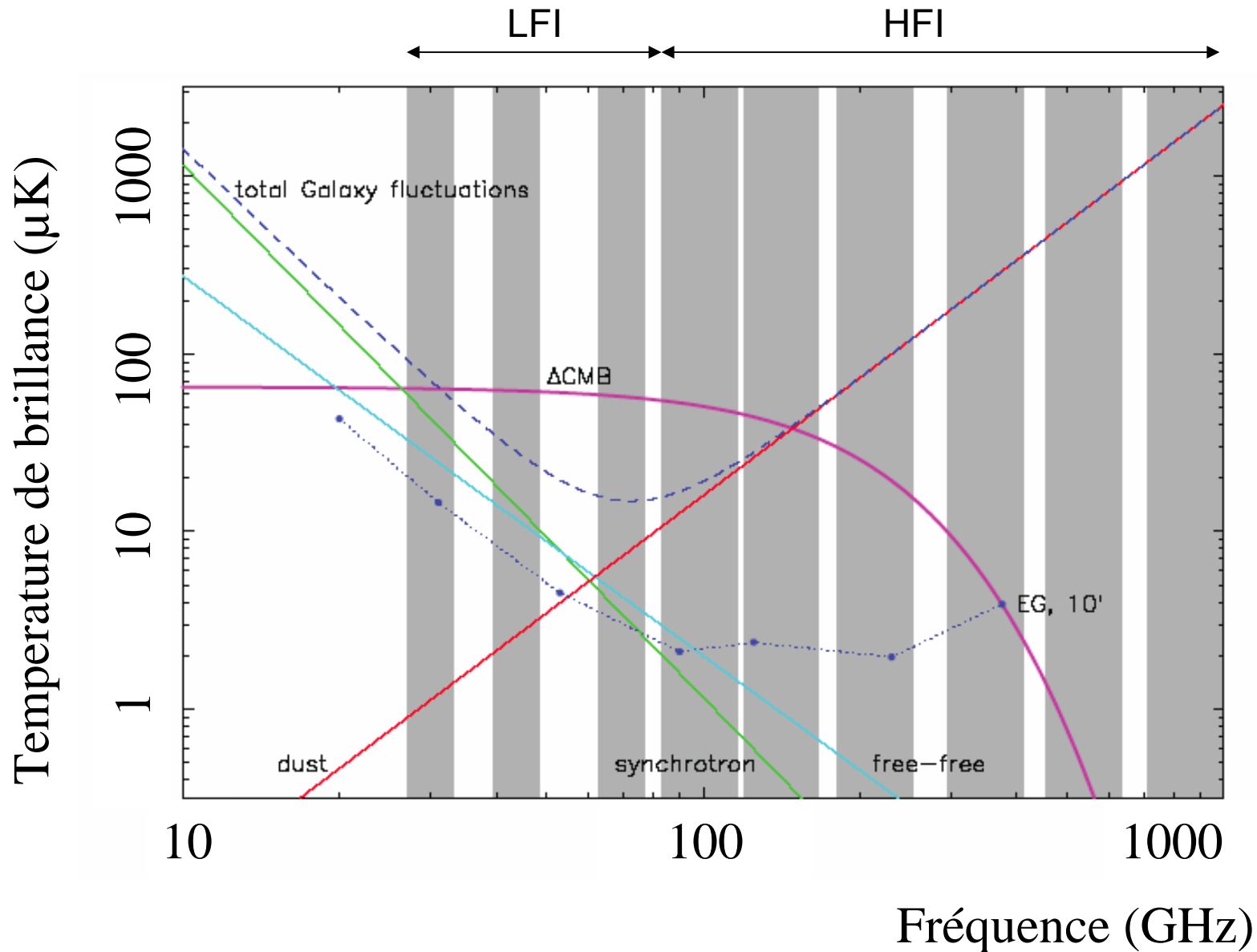
INSTRUMENT CHARACTERISTIC	LFI			HFI					
	HEMT arrays			Bolometer arrays					
Detector Technology . . . . .	HEMT arrays			Bolometer arrays					
Center Frequency [GHz] . . . . .	30	44	70	100	143	217	353	545	857
Bandwidth ( $\Delta\nu/\nu$ ) . . . . .	0.2	0.2	0.2	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Angular Resolution (arcmin) . . . . .	33	24	14	10	7.1	5.0	5.0	5.0	5.0
$\Delta T/T$ per pixel (Stokes $I$ ) <sup>a</sup> . . . . .	2.0	2.7	4.7	2.5	2.2	4.8	14.7	147	6700
$\Delta T/T$ per pixel (Stokes $Q$ & $U$ ) <sup>a</sup> . . . . .	2.8	3.9	6.7	4.0	4.2	9.8	29.8	...	...

<sup>a</sup> Goal (in  $\mu\text{K}/\text{K}$ ) for 14 months integration,  $1\sigma$ , for square pixels whose sides are given in the row "Angular Resolution".

$\lambda=1\text{ cm}$ 
 $\lambda=3\text{ mm}$ 
 $\lambda=350\mu\text{m}$



# Approche multi-bandes: réduction des avant-plans

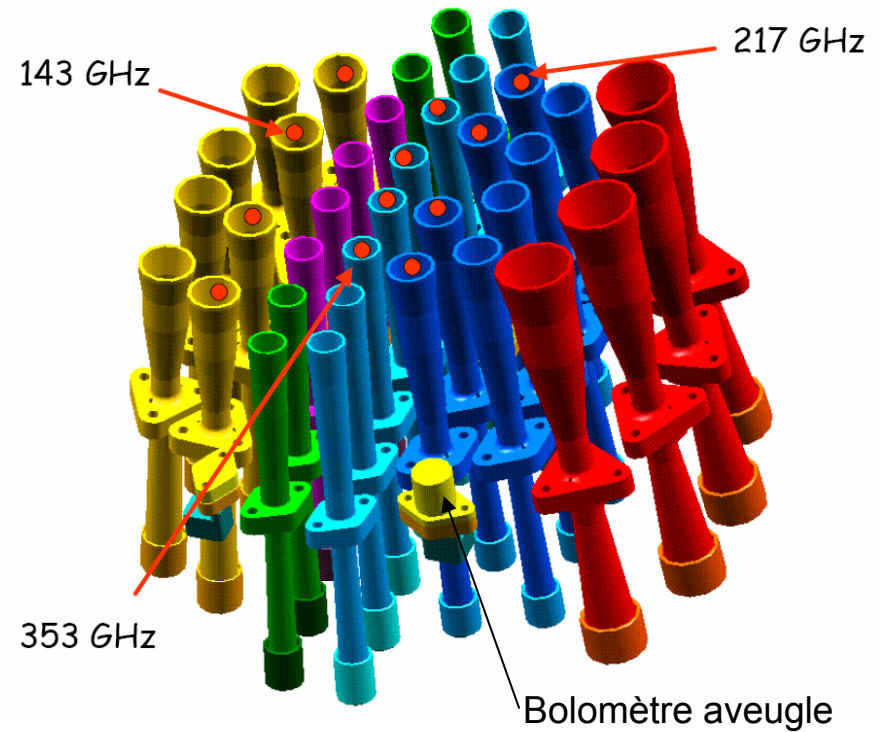
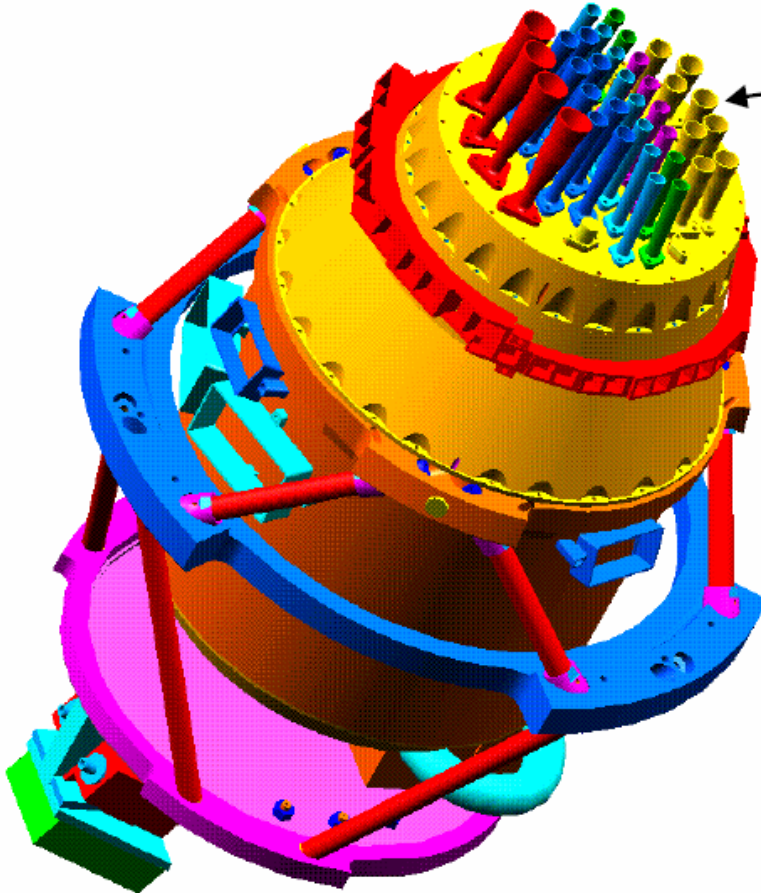


# L'instrument Planck-HFI

36 cônes concentrateurs

48 détecteurs; 6 bandes

Plan Focal



Canaux sensibles à la polarisation  
(12 « PSB »)

d'après Jacques Delabrouille (Moriond 2002)

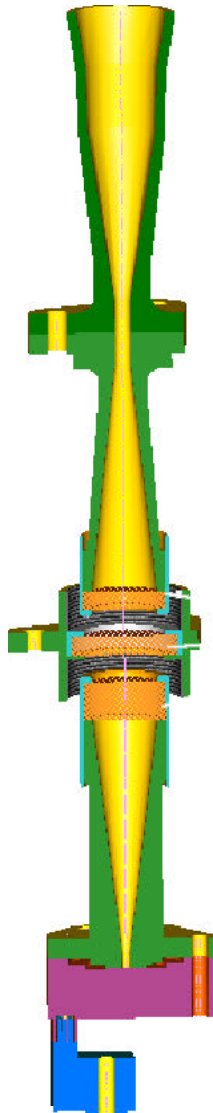




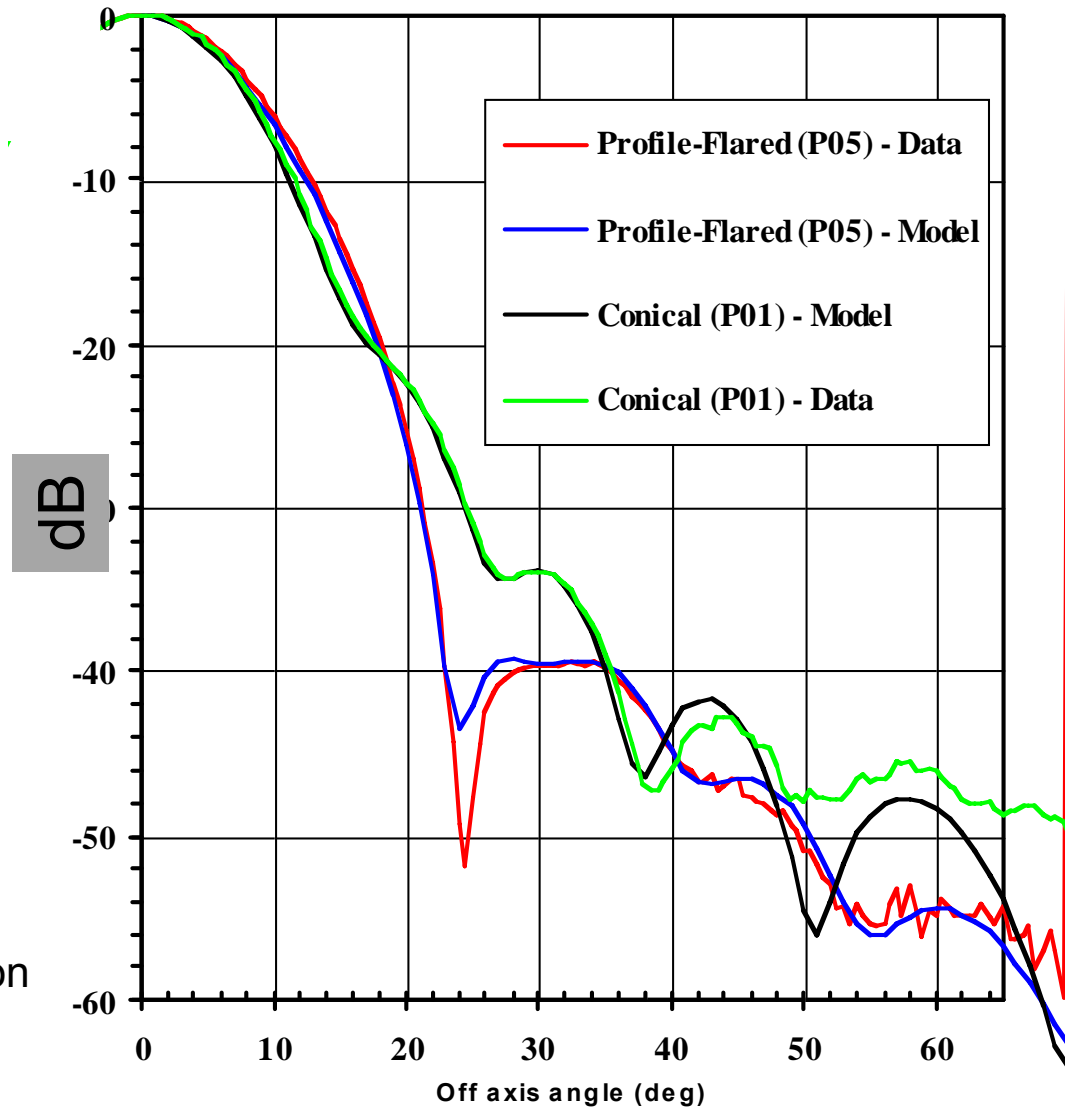
# Couplage optique et définition angulaire

« Flared horn »  
(cône évasé)

Made in  
Cardiff  
(UK)

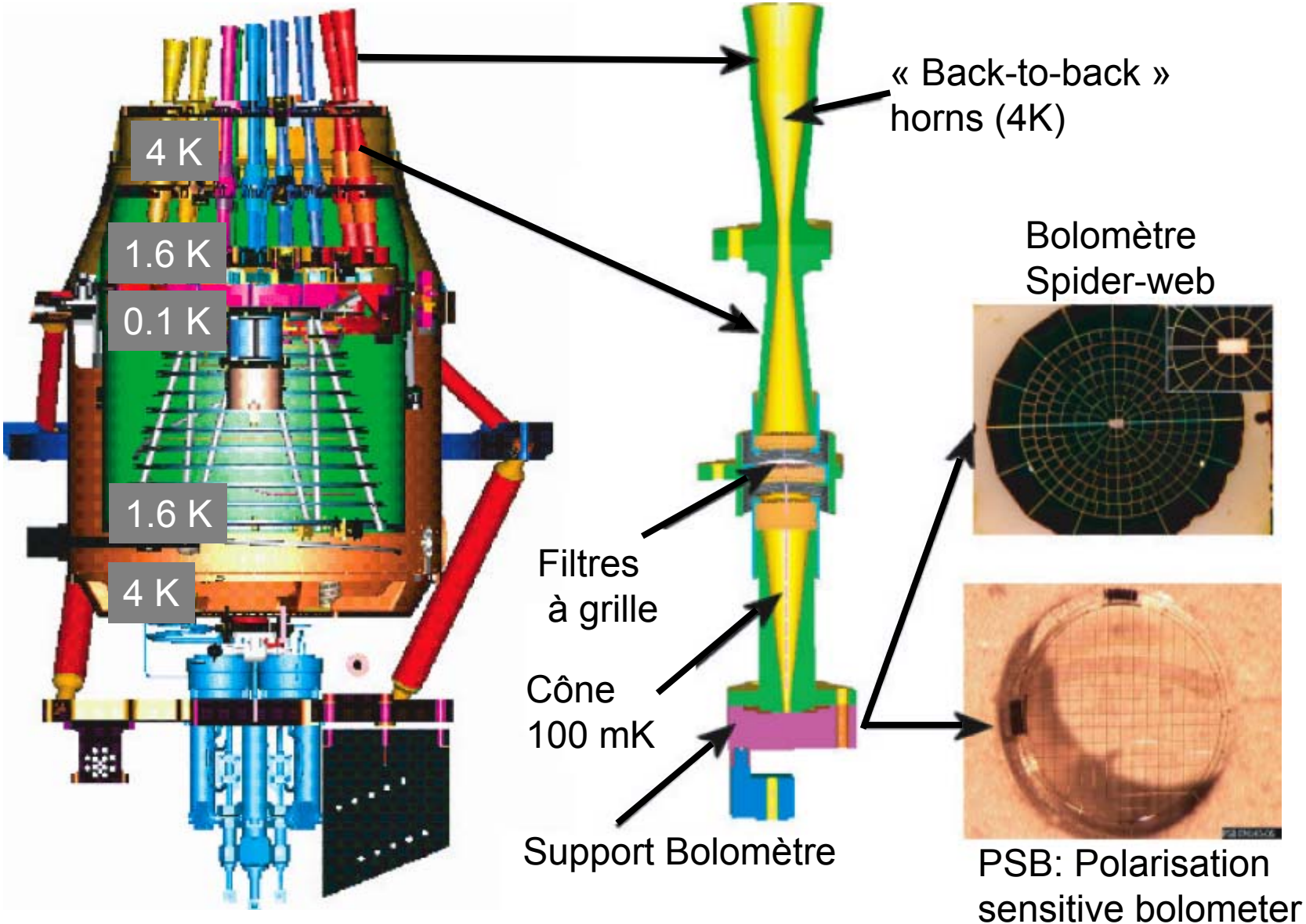


Atténuation  
1/1000

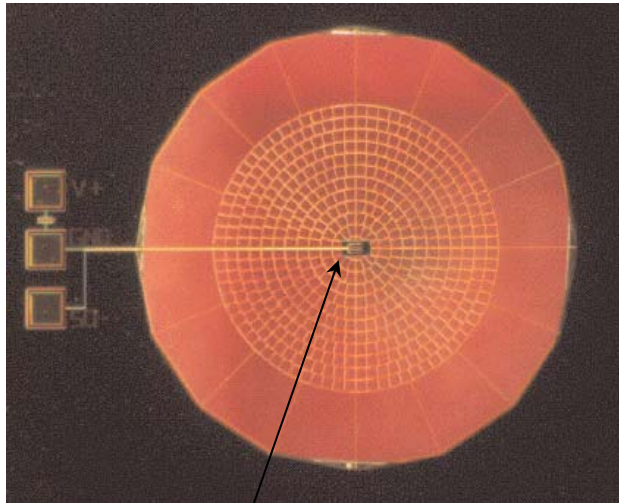




# Architecture thermique



# Bolomètres araignées (JPL @ Caltech)



Ge-NTD

## Performances

Table 4. Average Values and Dispersion in Parameters for Ten Micromesh Bolometers

Parameter	Value	Unit	% Disp
$T_b$	315	mK	
$R_0$	8.843	$\Omega$	6.31%
$\Delta$	50.388	K	0.75%
$G$ (400 mK)	$9.1 \times 10^{-10}$	W/K	3.83%
$C$ (400 mK)	$1.8 \times 10^{-11}$	J/K	11.1%
$\tau$ (400 mK)	15.5	ms	14.1%
Voltage Noise	$6 \times 10^{-9}$	$V/\sqrt{\text{Hz}}$	
Responsivity (0 Hz)	$7.2 \times 10^7$	V/W	
NEP (0 Hz)	$8.5 \times 10^{-17}$	$W/\sqrt{\text{Hz}}$	

Table 3. Thermal Conductance and Web Properties

H Web	300 mK	100 mK
$G_{\text{absorber}}$ (W/K)	$6.0 \times 10^{-11}$	$1.4 \times 10^{-11}$
$G_{\text{supports}}$ (W/K)	$\leq 2 \times 10^{-11}$	$\leq 1.0 \times 10^{-12}$
$\tau_{\text{therm}}$ ( $\mu\text{s}$ )	250	500
$G_{\text{ctr}}/G_{\text{opt}}$	0.95	0.99

Conduction thermique de la toile

- Substrat: membrane  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (qq  $\mu\text{m}$ )
- Film résistif: Au
- **Coefficient de remplissage  $\approx 2\% \rightarrow 10\%$**  (lutte efficacement contre les rayons cosmiques)

# Bolomètres araignées: bilan détaillé de C(T)

Table 2. Estimated Heat Capacities of Thermistor and Lead Components

Component	$C_v$ Electron (J/cc K <sup>2</sup> )	$C_v$ Lattice (J/cc K <sup>4</sup> )	Volume (cc)	C (400 mK) (J/K)
<b>Thermistor</b>				
Ge <sup>a</sup>	$1.9 \times 10^{-7}$	$3.0 \times 10^{-6}$	$1.66 \times 10^{-5}$	$4.52 \times 10^{-12}$
Pd <sup>b</sup>	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-9}$	$1.25 \times 10^{-12}$
Au <sup>b</sup>	$7.3 \times 10^{-5}$	$4.2 \times 10^{-5}$	$5.2 \times 10^{-8}$	$1.65 \times 10^{-12}$
Total				$7.42 \times 10^{-12}$
<b>Electrical Leads</b>				
Cu <sup>b</sup>	$9.7 \times 10^{-5}$	$6.7 \times 10^{-6}$	$8.75 \times 10^{-8}$	$3.4 \times 10^{-12}$
NbTi <sup>b</sup>	superconducting	$4.0 \times 10^{-6}$	$1.71 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-13}$
In <sup>b</sup>	$1.15 \times 10^{-4}(n)$	$9.58 \times 10^{-5}$	$1.25 \times 10^{-7}$	$7.7 \times 10^{-13}$
Pb <sup>b</sup>	$1.71 \times 10^{-4}(n)$	$1.2 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-8}$	$2.0 \times 10^{-13}$
Total				$4.82 \times 10^{-12}$
<b>Absorber</b>				
Cr <sup>b</sup>	$2.03 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-9}$	$2.4 \times 10^{-13}$
Au <sup>b</sup>	$7.25 \times 10^{-4}$	$4.23 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-8}$	$3.0 \times 10^{-13}$
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> <sup>c</sup>	*	*	$2.5 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-14}$
Total				$5.5 \times 10^{-13}$
<b>Heat Capacity of Thermistor + Leads</b>				$1.3 \times 10^{-11}$

<sup>a</sup>Ref. 17 (Electronic heat capacity estimated assuming a doping density of  $4.9 \times 10^{-16}/\text{cc}^2$ ).

<sup>b</sup>Ref. 18.

<sup>c</sup>Ref. 19.

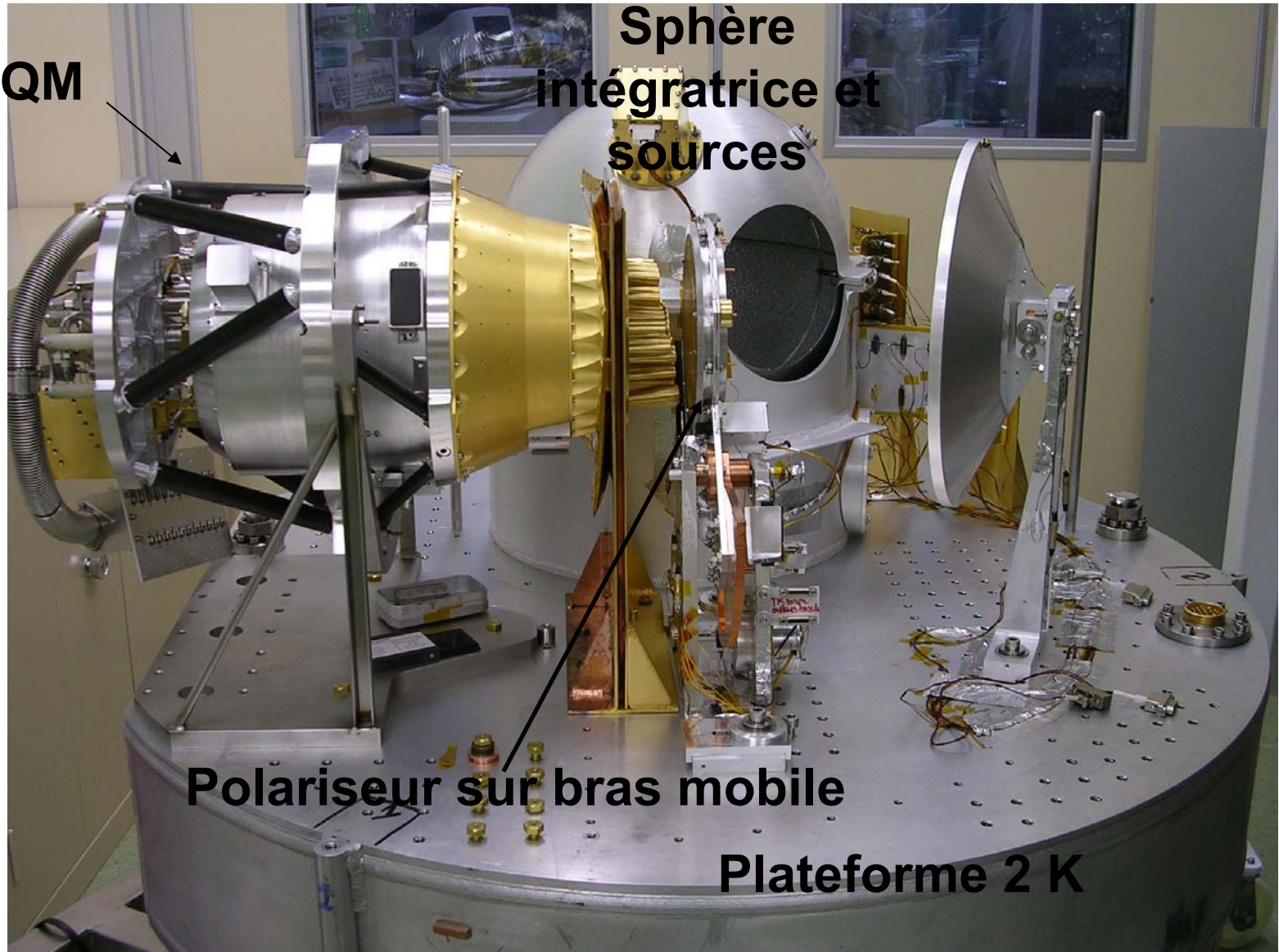
*in P.D. Mauskopf et al., 1997*





## 1. le CQM (Cryogenic Qualification Model) à l' IAS (2004)

**HFI CQM**

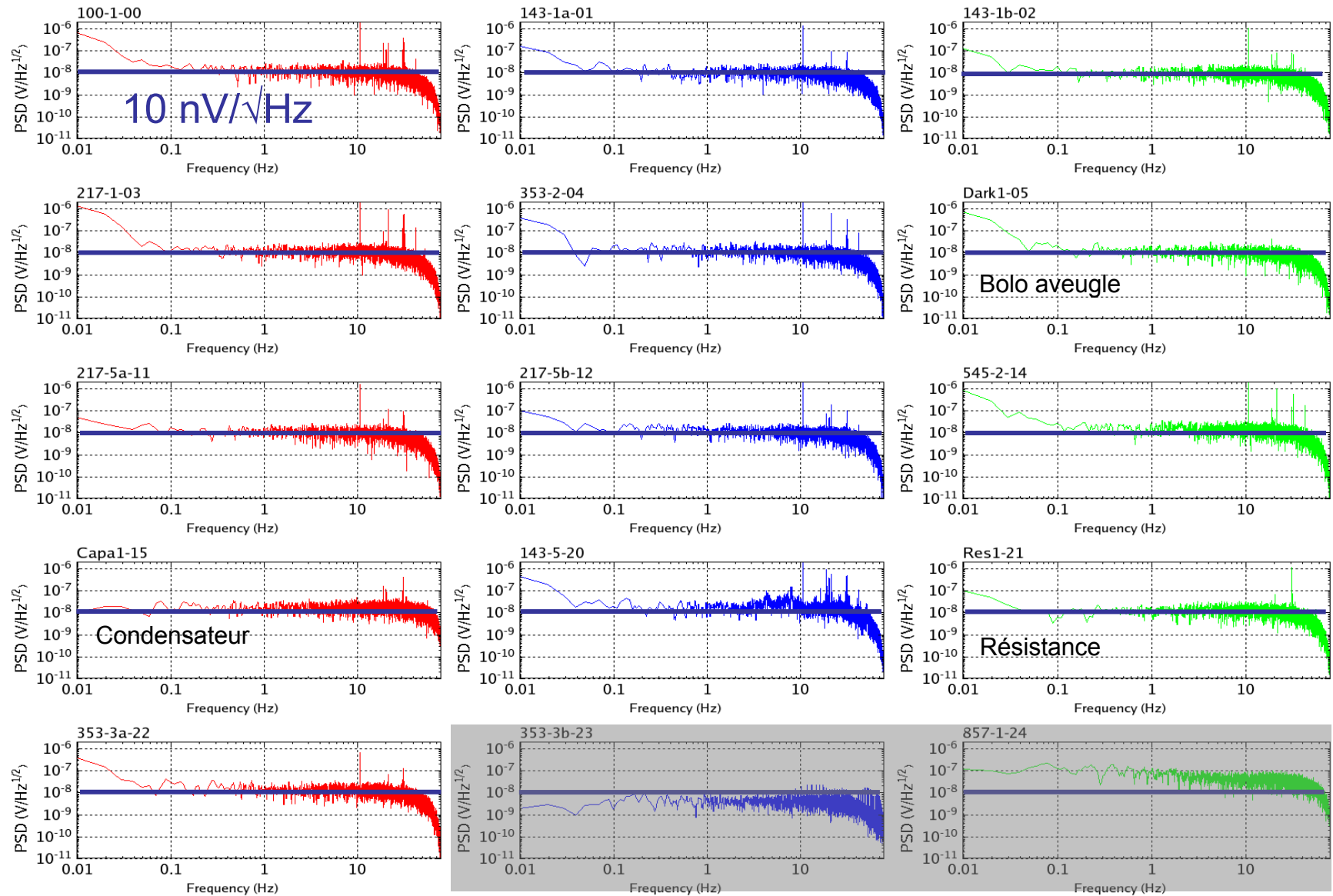


**Sphère  
intégratrice et  
sources**

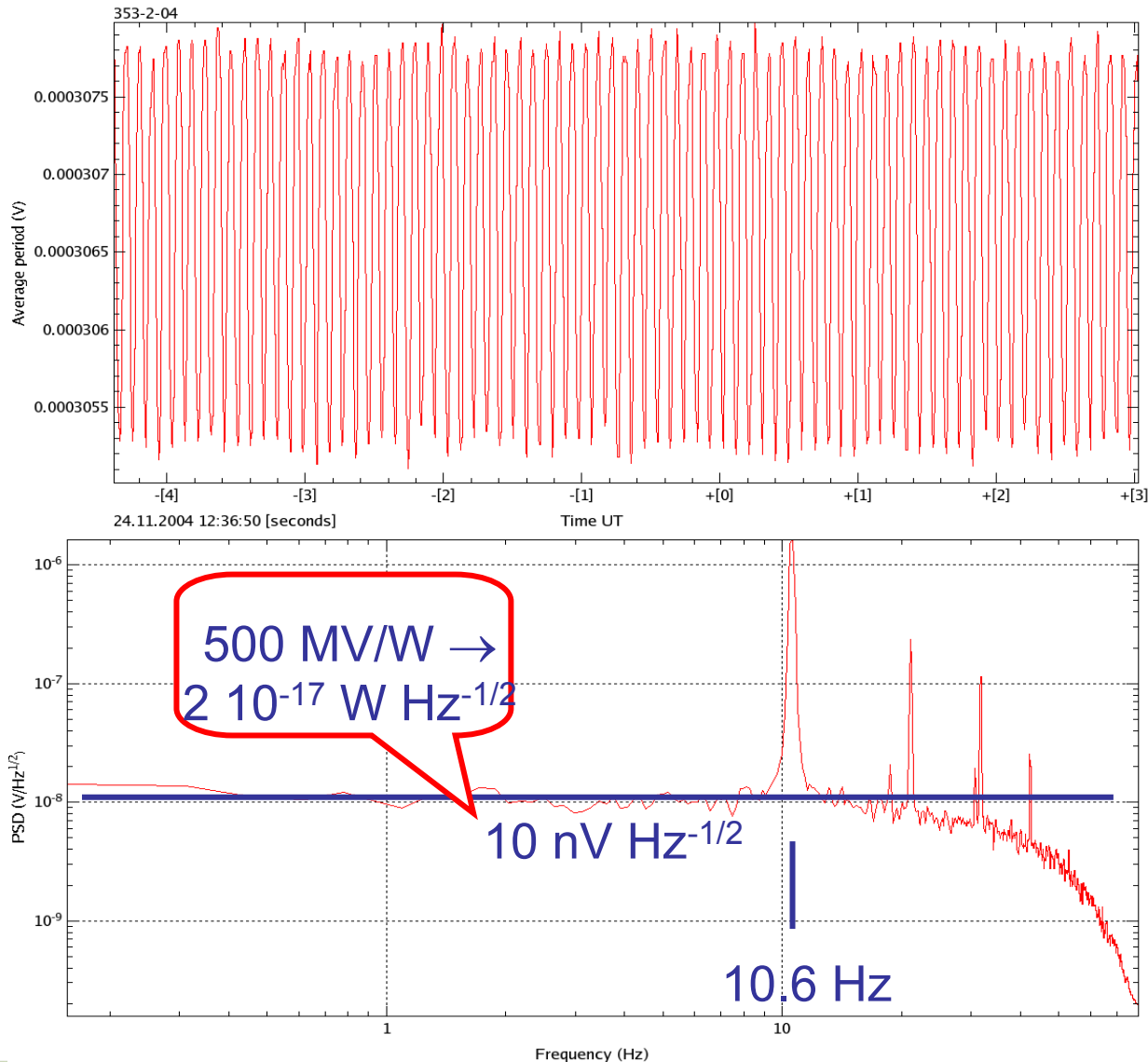
**Polariseur sur bras mobile**

**Plateforme 2 K**

## 2. Mesures dans les six bandes du corps noir modulé @ 10Hz



## Modèle CQM: un NEP dans les spécifications !



Source CS2 (corps noir modulé par un diapason à 10.6Hz),  
vue par un bolomètre du canal 353 GHz ( $\approx 7$ sec)



Prochaine étape:  
calibration du modèle  
de vol en 2006 pour  
un tir en 2007-2008

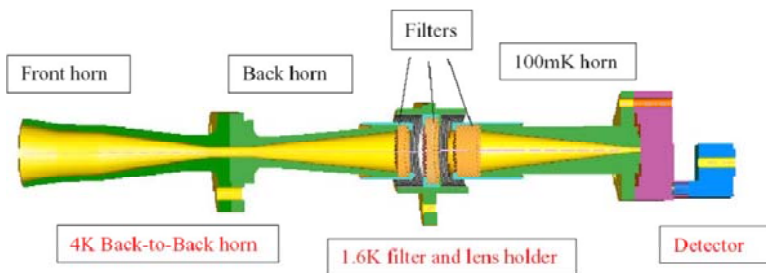


Un consortium international de 50 instituts ( $\approx \text{Planck}_{2005} \times 2$ )

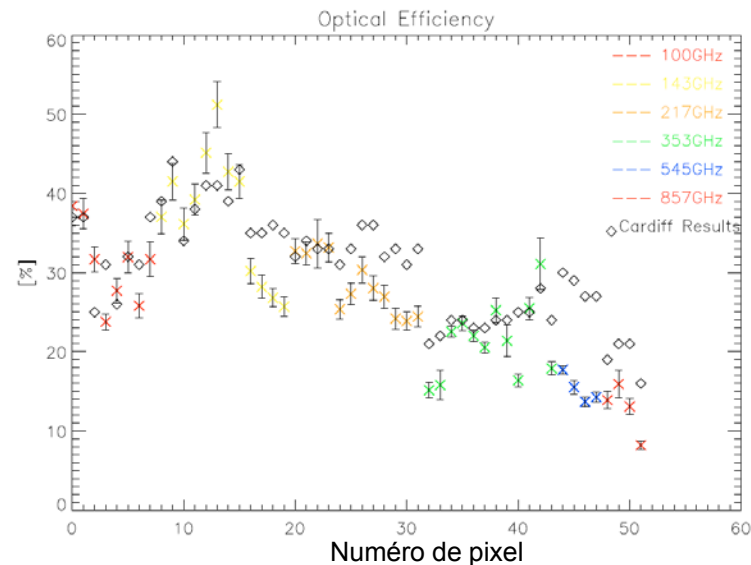
- ❑ **Juin-juillet 2006:** calibration @ l'IAS du modèle de vol de Planck HFI
- ❑ **Novembre 2006:** livraison à l'industriel (Alcatel-Alenia-Space à Cannes) des modèles de vol
- ❑ **Juin 2007:** intégration du télescope avec la charge utile
- ❑ **Prochaines étapes:**
  - ❑ **CSL** (Centre Spatial de Liège) intégration complète du satellite
  - ❑ **fin juillet 2008:** date officielle de lancement (Ariane 5)

# Planck-HFI: calibration IAS (juin-juillet 2006)

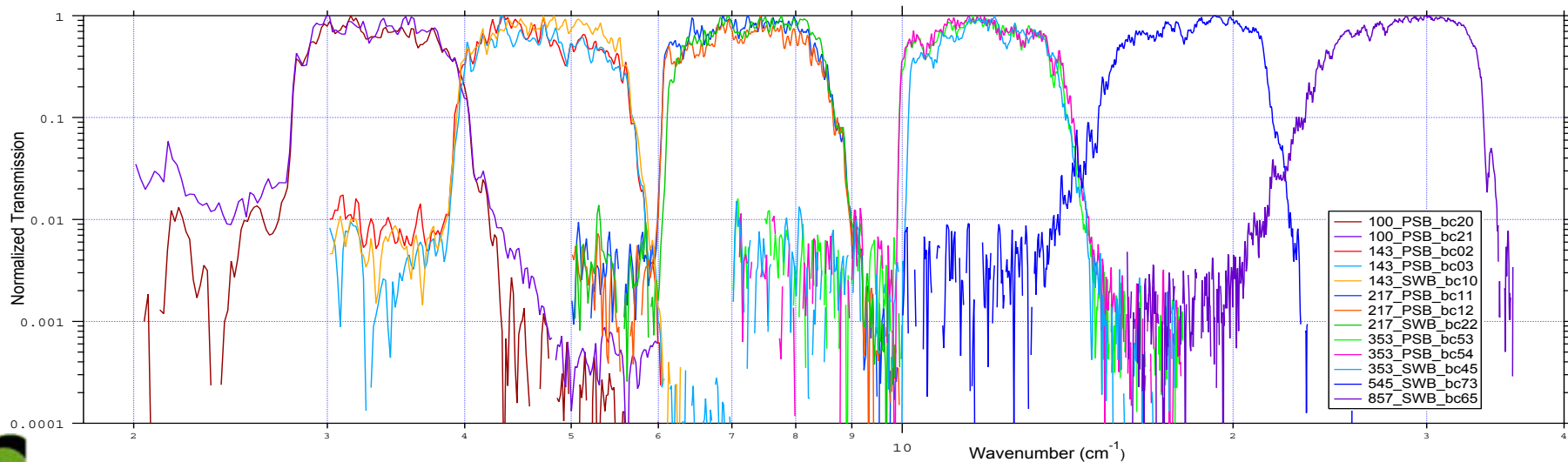
## Chaîne optique



## Efficacité optique



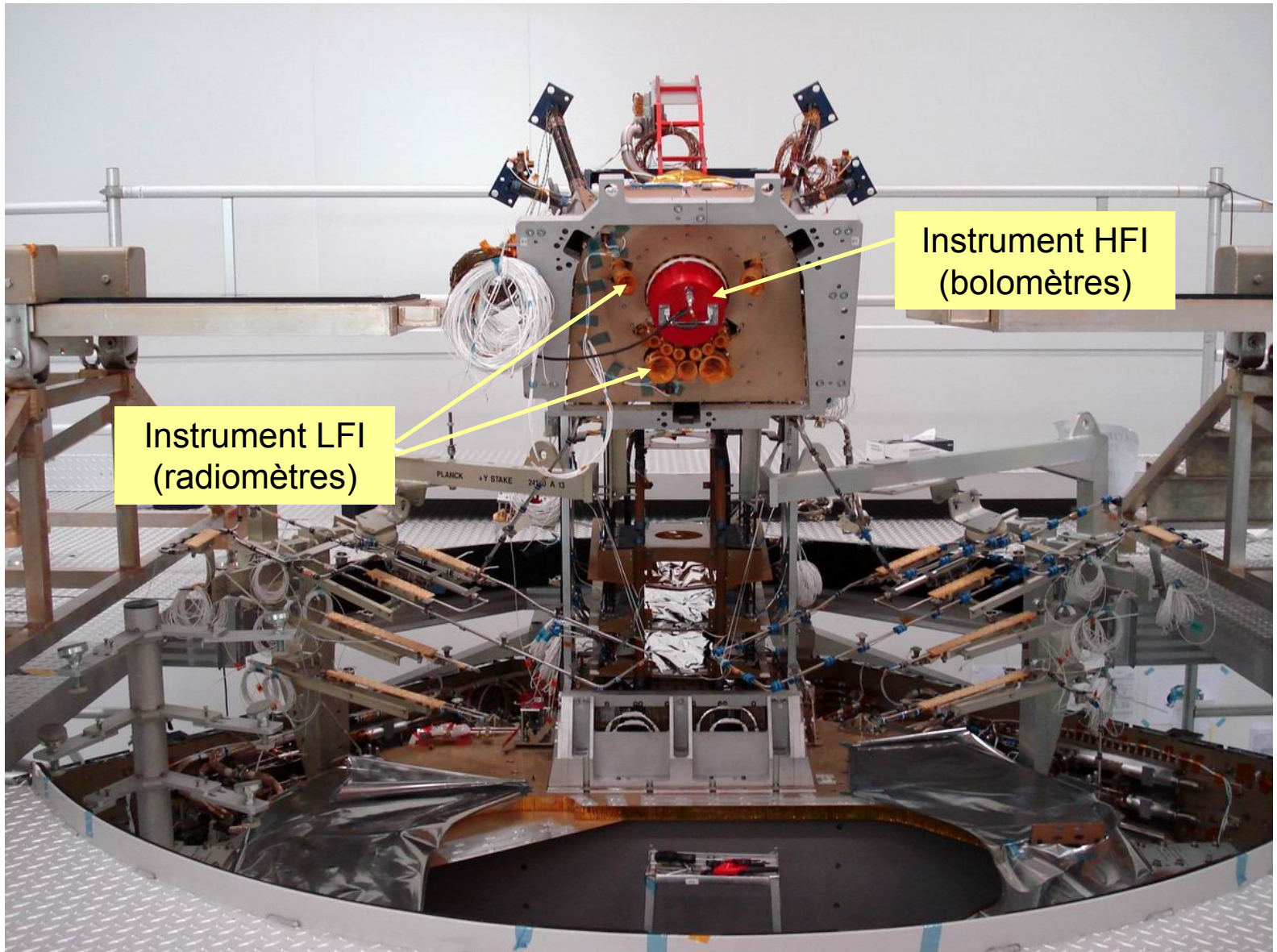
## Transmission spectrale



# Planck-HFI: test des déformations du télescope à froid

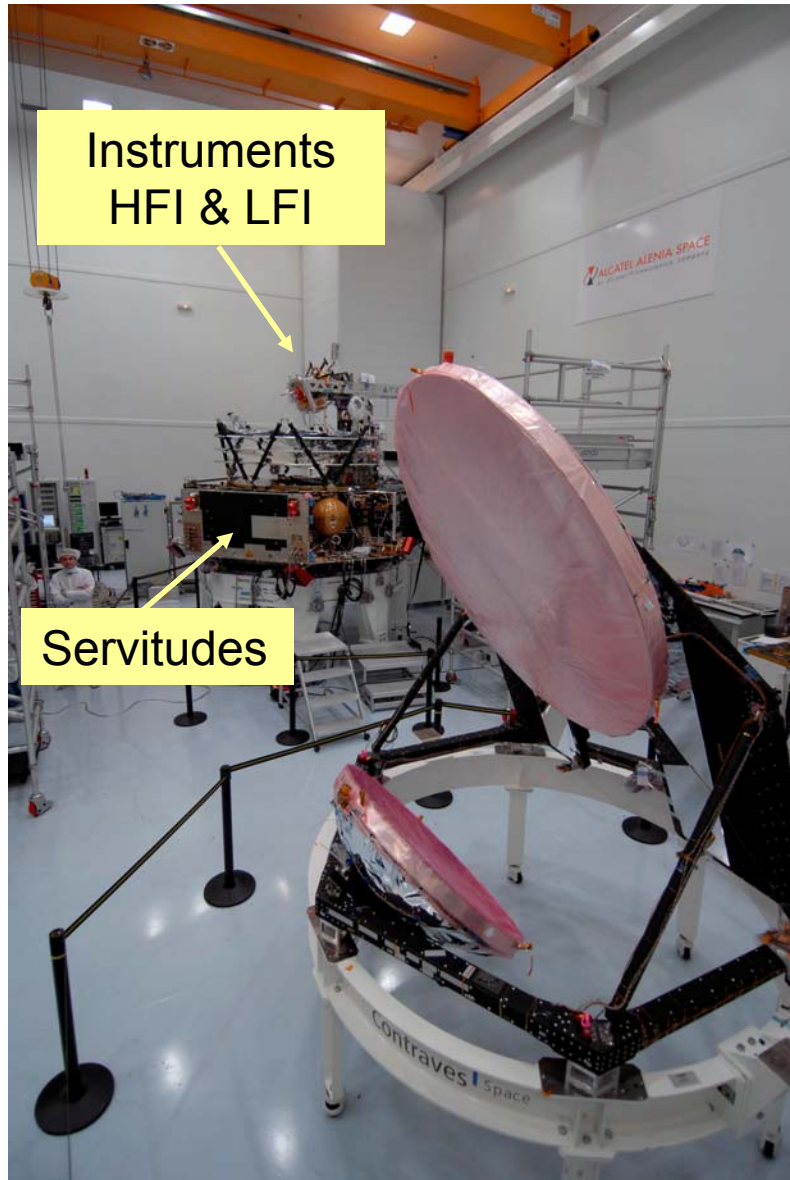


# Intégration de Planck HFI, LFI et d'un refroidisseur à sorption

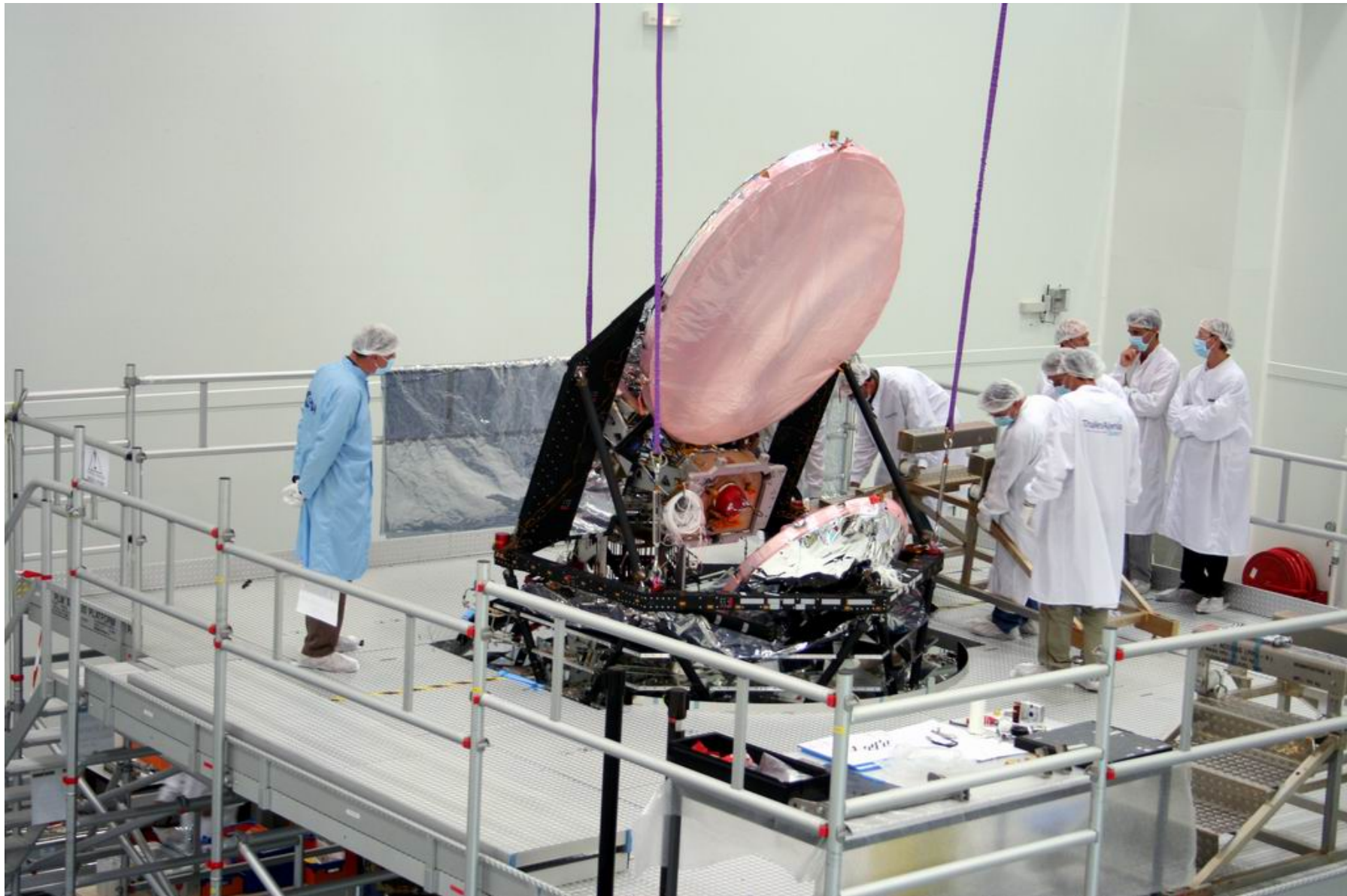




# Intégration du télescope et des instruments



# Le satellite Planck à Cannes (Hall Alcatel-Alenia-Space) en juin 2007





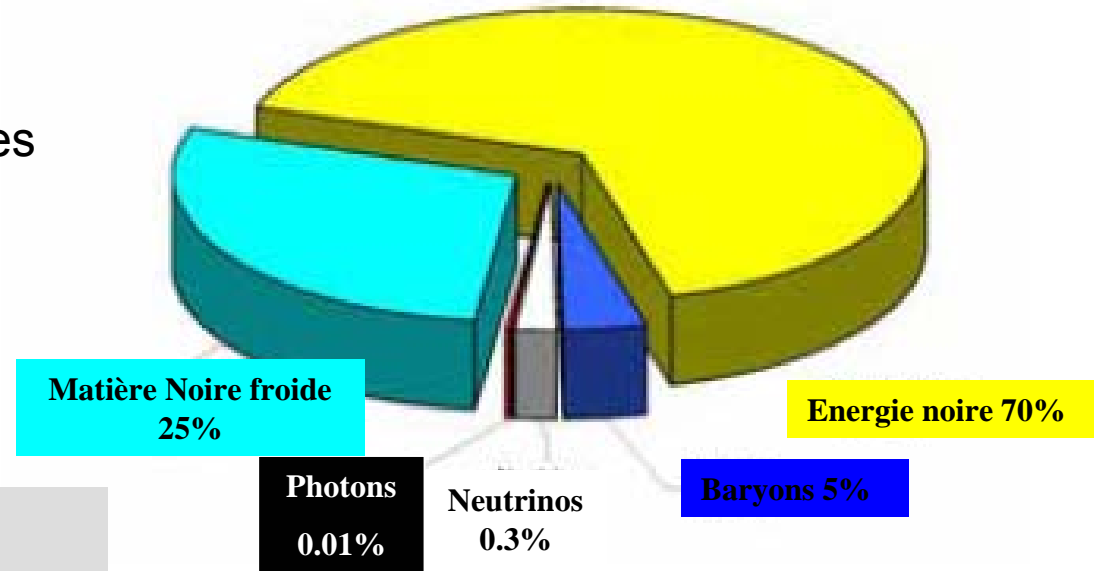
# □ Détection de la Matière noire



# Détection de la Matière Noire Galactique

- ✓ présence à toutes les échelles de matière sombre
- ✓ argument le plus convaincant: platitude des courbes de rotation des galaxies spirales, dont notre Voie Lactée au delà des concentrations de matière visible (gaz, étoiles)
- ✓ densité labo  $\approx 0.3 \text{ GeV/cc}$

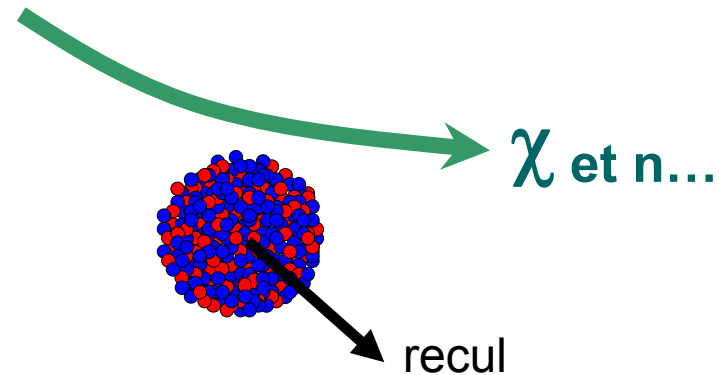
## Contenu énergétique de l'Univers



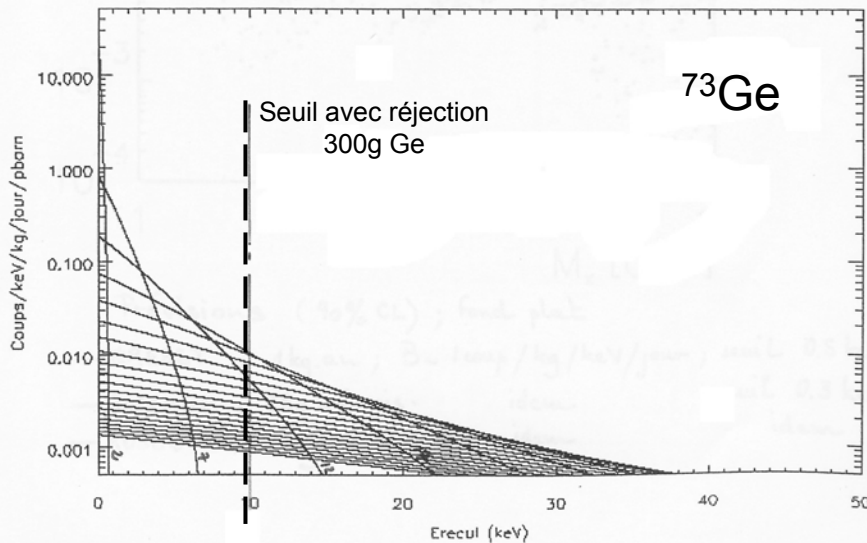
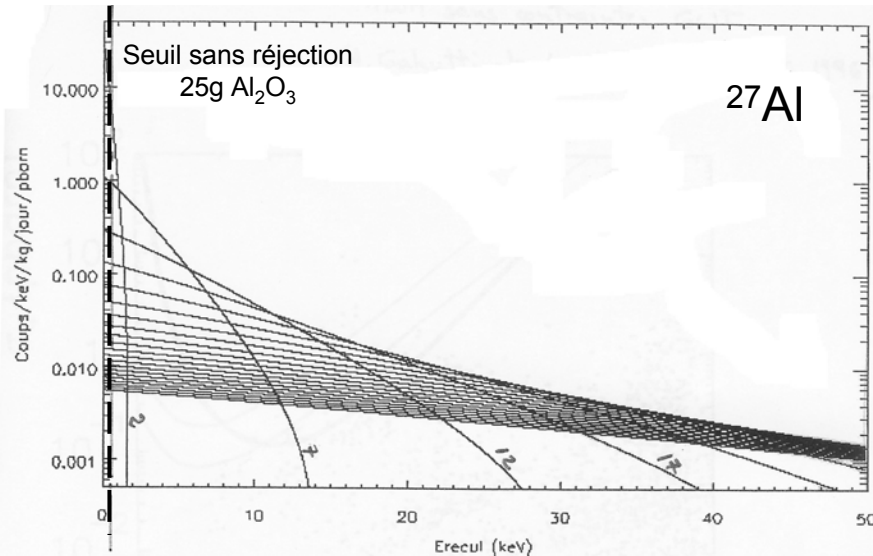
Une des candidats le mieux motivé:

- **Neutralino**  $\chi$  (la plus légère des Particules **SuperSymétriques**; LSP)  $\equiv$  Matière Noire Froide
- $M \approx 6 \text{ GeV}/c^2 \rightarrow qq \text{ } 100 \text{ GeV}/c^2$
- Energies labo  $\approx$  **qq keV**
- Interaction: diffusion élastique  $\rightarrow$  **reculs**
- Description précise ? paramètres libres ++
- Sections efficaces  $\downarrow\downarrow$  (WIMPs) mais prédictibles

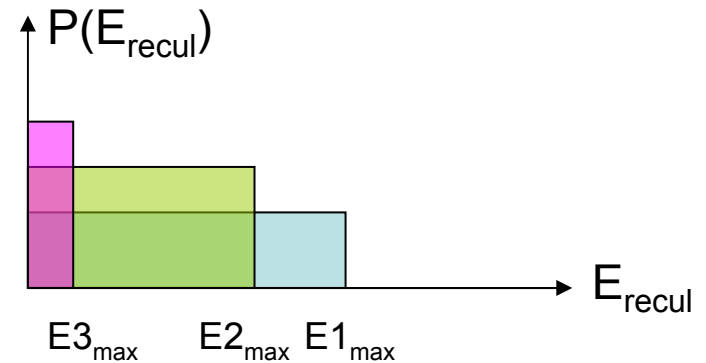
$\hookrightarrow$  **Weakly Interactive Massive Particles**



# Détection de la matière noire: spectres attendus



- $M_\chi = 2, 7, 12, \dots, 102 \text{ GeV}/c^2$
- Modèle de halo « isotherme »
  - $V_0 = 230 \text{ km.s}^{-1}$
  - $V_{\text{échappement}} = 600 \text{ km.s}^{-1}$
  - $v_{\text{terre}} = 244 \text{ km.s}^{-1}$  (mars)
  - facteur de forme nucléaire



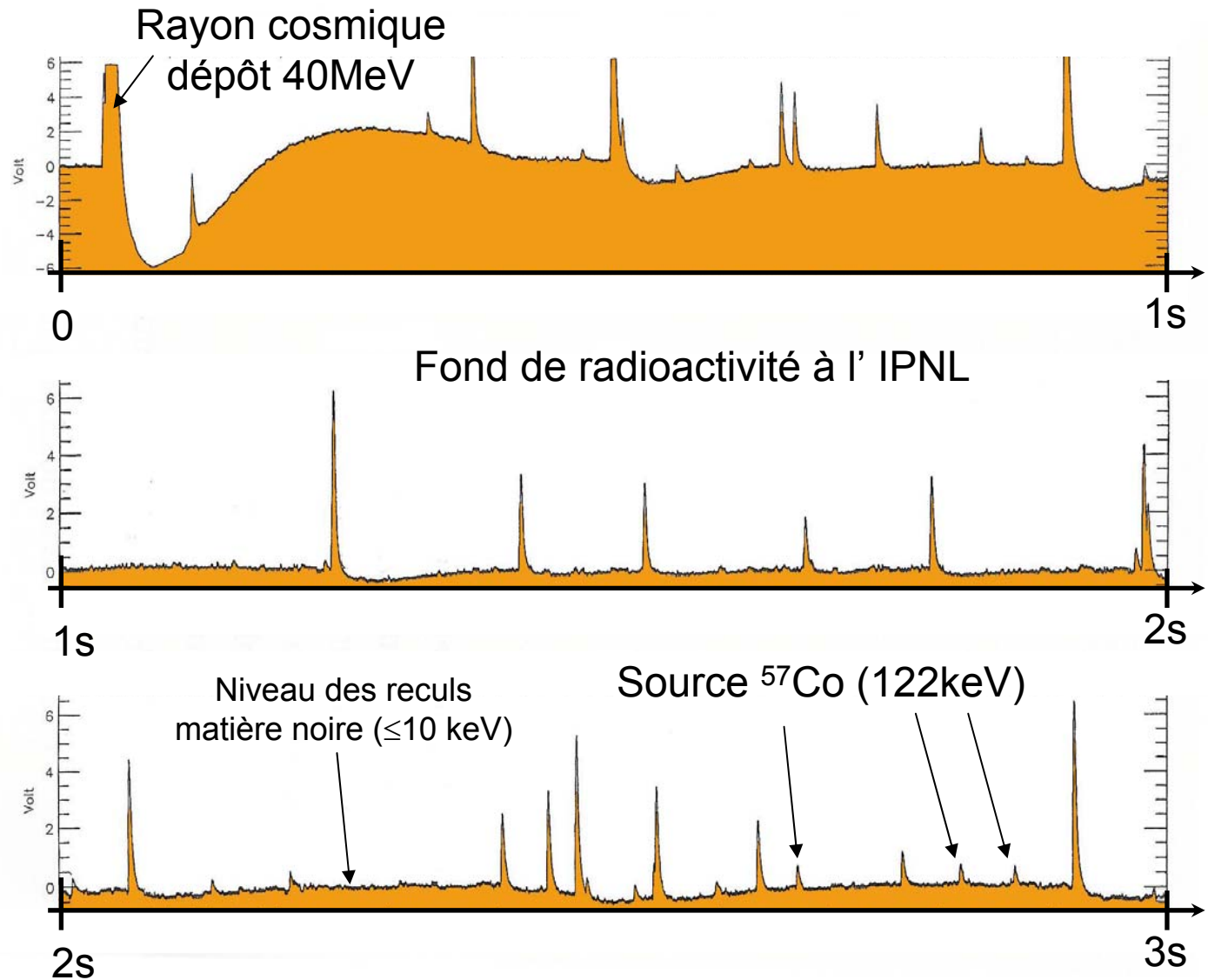
- Cinématique élémentaire  $\rightarrow E_{\text{max}}$   
(adaptation des masses: de la pétanque en labo !)
- Les faibles énergies de recul sont toujours « peuplées »  $\rightarrow$  spectres piqués à basse énergie: **on recherche le meilleur seuil  $\rightarrow$  bolomètres !**



# Détection de la Matière noire: l'appel des souterrains

3 traces consécutives de 1s dans un bolomètre de 1.2 kg en saphir.

Mesures IAS/ IPNL 1996



# Détection de la matière noire: bref état des lieux

---

- **1985: principes** (Goodman & Witten)
- **1990: faisabilité de seuils  $\approx$  keV** démontrée dans bolomètres à cibles massives (plusieurs centaines de grammes) Ge, Si,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 
  - manips en souterrain: **bruit de fond élevé (radioactivité !)**
- **2000: annonce d'une détection positive** (expérience DAMA au GranSasso) *scintillateurs NaI à 300K; détection par la signature attendue matière noire [« modulation annuelle »: la composition des vitesses terre/soleil induit une modulation de l'énergie et du flux des WIMPs]. Résultats très controversés, non vérifiés par les expériences postérieures, dans le cadre des modèles standards des WIMPs: mais motivation puissante pour les expérimentateurs !*
- 1990→2000: **R&D discriminations par techniques mixtes**
  - **charges & chaleur:** sur Ge (CDMS, EDELWEISS) & Si (CDMS)
  - **lumières & chaleur** (CRESST, ROSEBUD)
- 2000→2005
  - **retour en souterrains:** espace des phases du MSSM à portée de main des détecteurs cryogéniques
- 2007: un sérieux compétiteur : **Xe liquide scintillant**





## □ Détection de la Matière noire

Avec discrimination « Charges & chaleur »

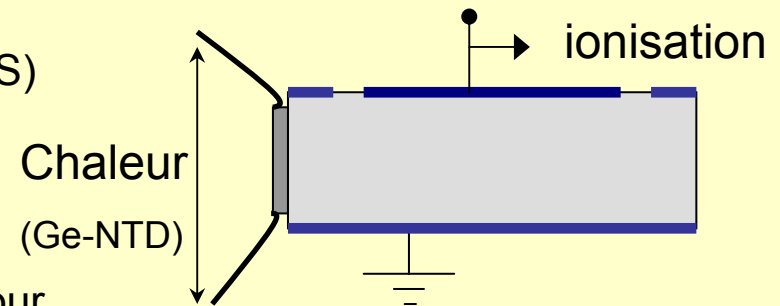
CDMS (US), EDELWEISS (France)



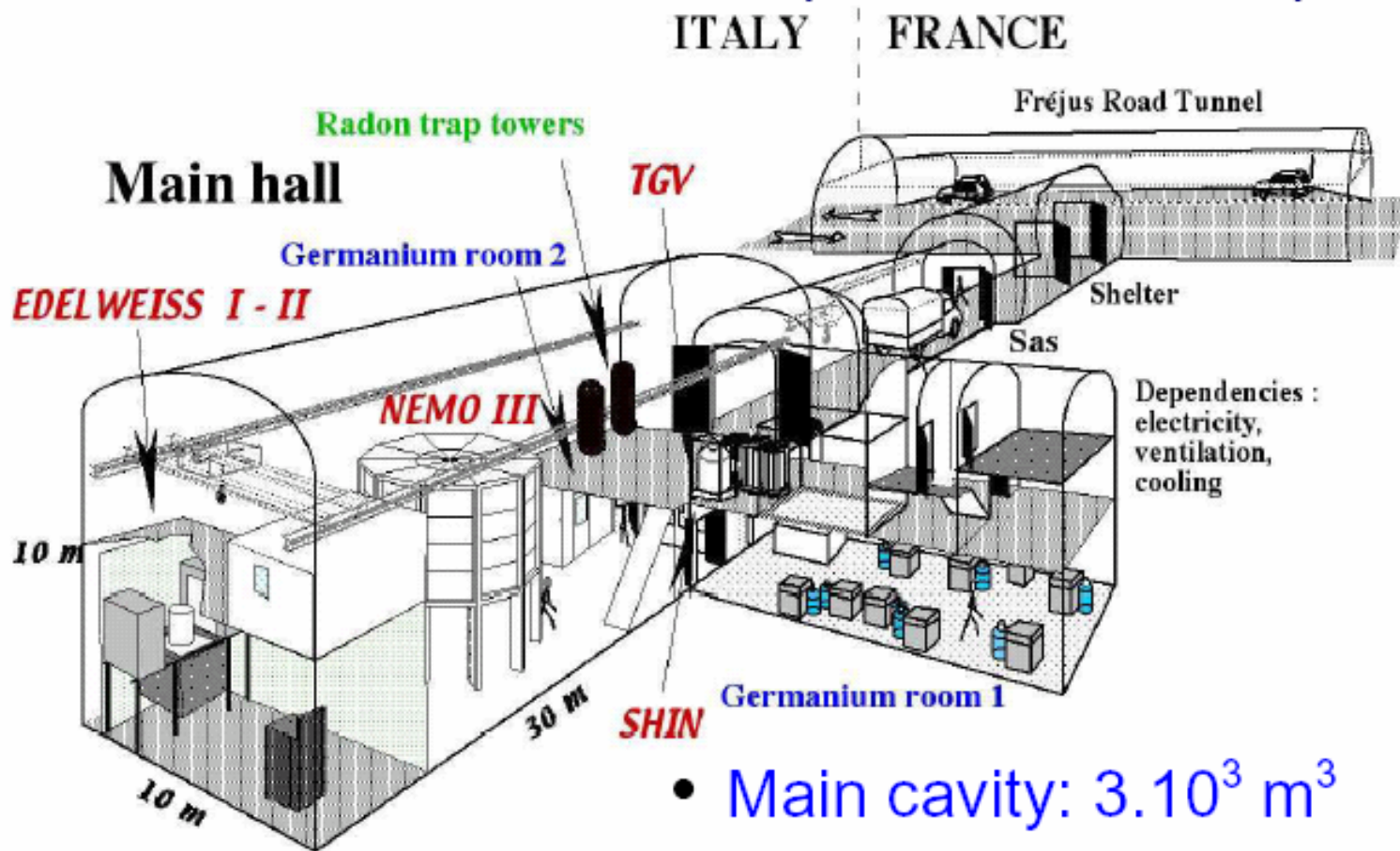


## Expérience pour DÉtecter Les Wimps En Site Souterrain

- ✓ tunnel du Fréjus (Laboratoire Souterrain de Modane; 4500mwe; 1990→)
- ✓ collaboration **CNRS IN2P3 (CSNSM, IPNL), INSU (IAP), SPM (CRTBT)** & CEA (DAPNIA, DRECAM) + Univ. Karlsruhe; JINR Dubna (≈ 50 chercheurs)
- ✓ technique mixte « charges / chaleur » sur Ge;
- ✓ thermométrie EDELWEISS-I:Ge-NTD (≠ CDMS: TES)
- ✓ meilleurs résultats mondiaux en 2003
- ✓ Edelweiss-I
  - 3 x 320g Ge; exposition « fiducielle » de 62kg. jour
  - évts dans la zone des reculs (probablement des évts de surface mal collectés)
- Edelweiss-II (démarre en 2006 au LSM)
  - 10 à 40 kg de détecteurs à terme
  - techniques de discrimination des évts de surface (suite aux R&D CSNSM en cours)

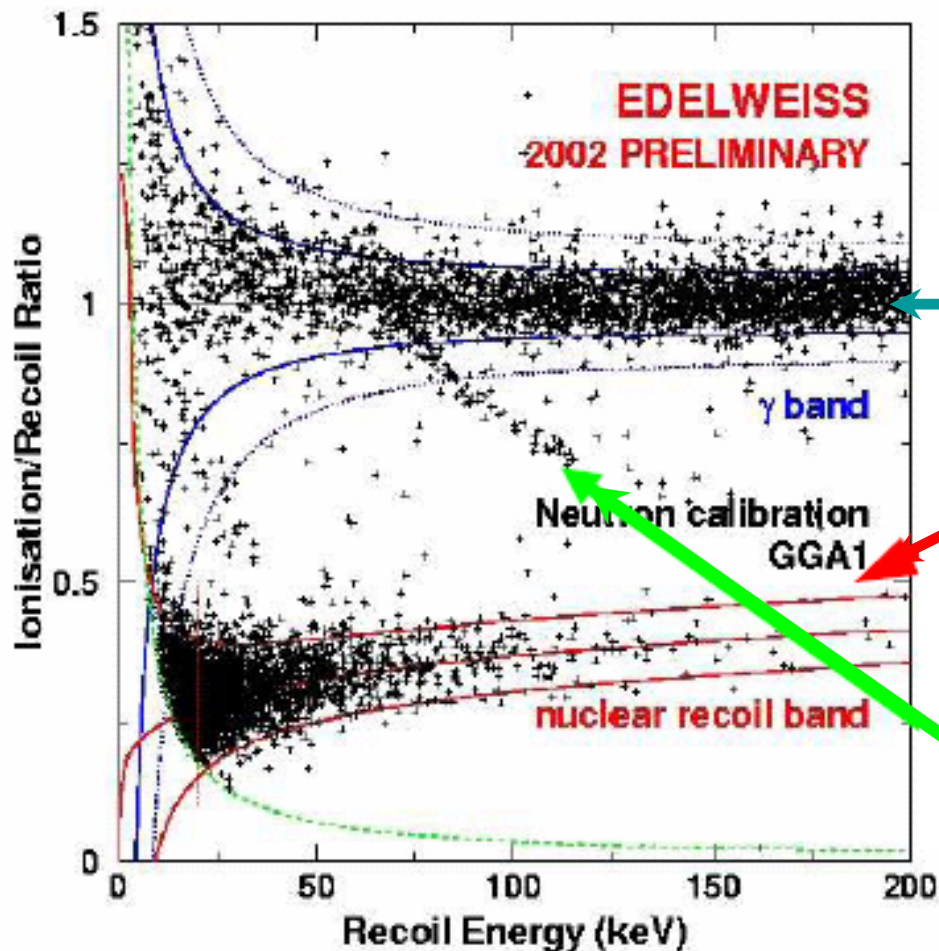


## Inside the LSM (CNRS-CEA)



- Main cavity:  $3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$
- Outside: offices, workshop and garage

# Détecteurs Edelweiss: discrimination gammas/reculs

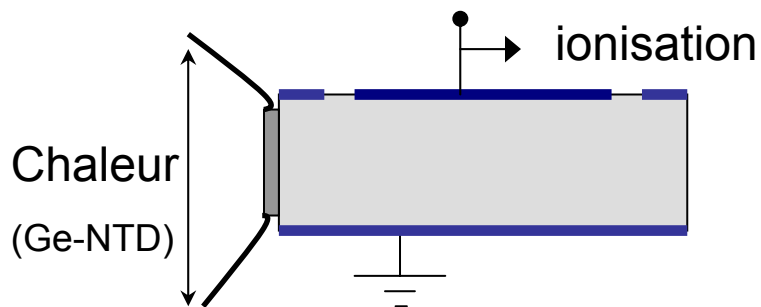


Irradiation  $^{252}\text{Cf}$

gammas

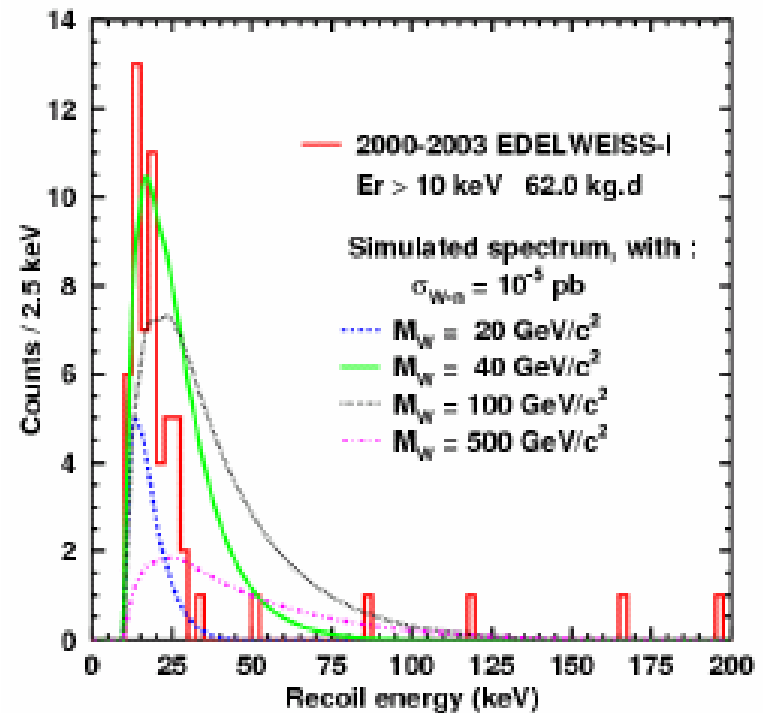
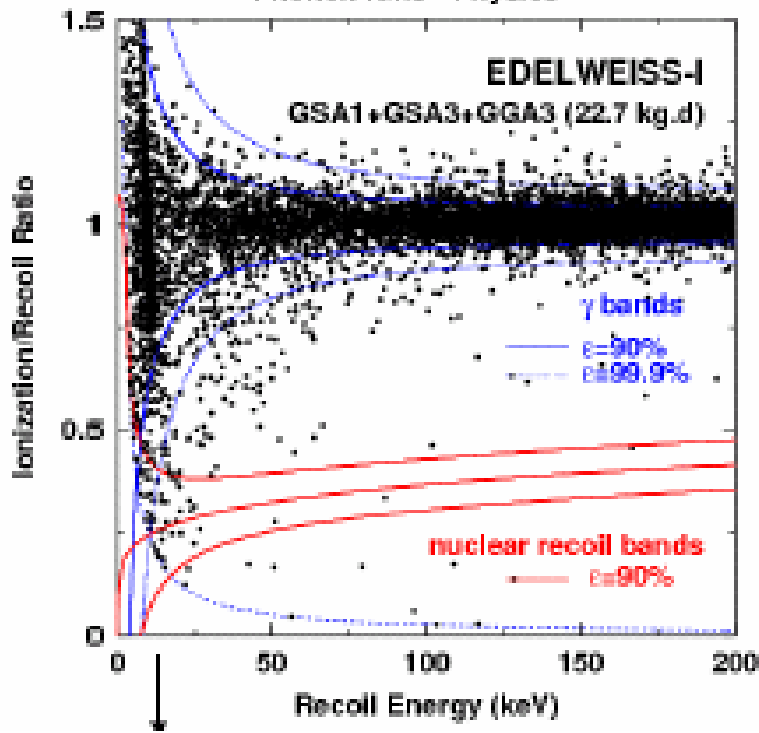
reculs

Diffusion inélastique sur  $^{73}\text{Ge}$



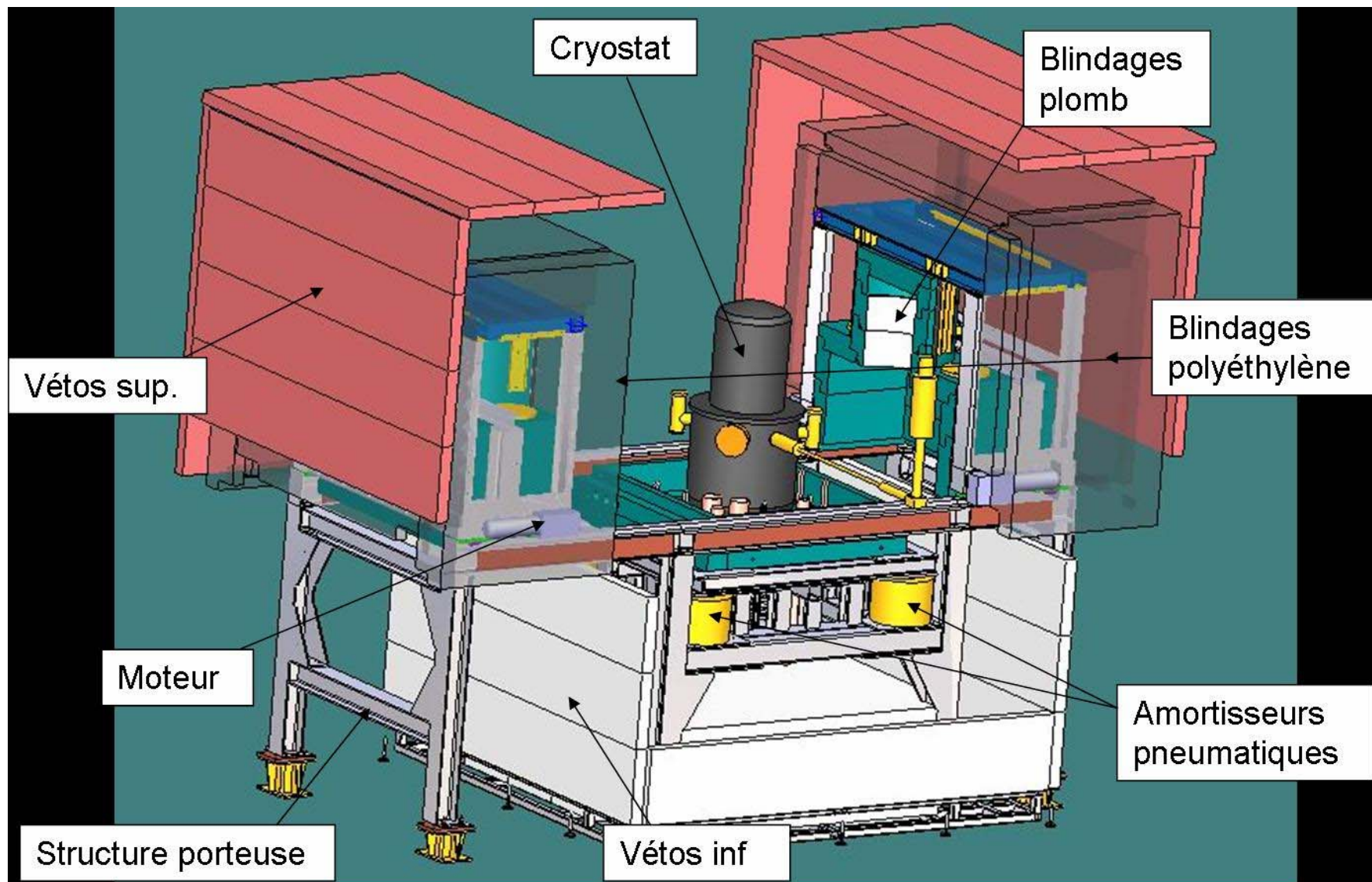
# Runs de fond Edelweiss-I (2000→2003):

- exposition 62 kg.jour
  - 59 événements, concentrés à basse E, probablement des **événements de surface mal collectés** sous les électrodes...
- **R&D (CSNSM) sur la localisation**: (1) analyse en temps résolu du signal de charge (2) films NbSi sensibles à la composante athermique des phonons issue des interactions.

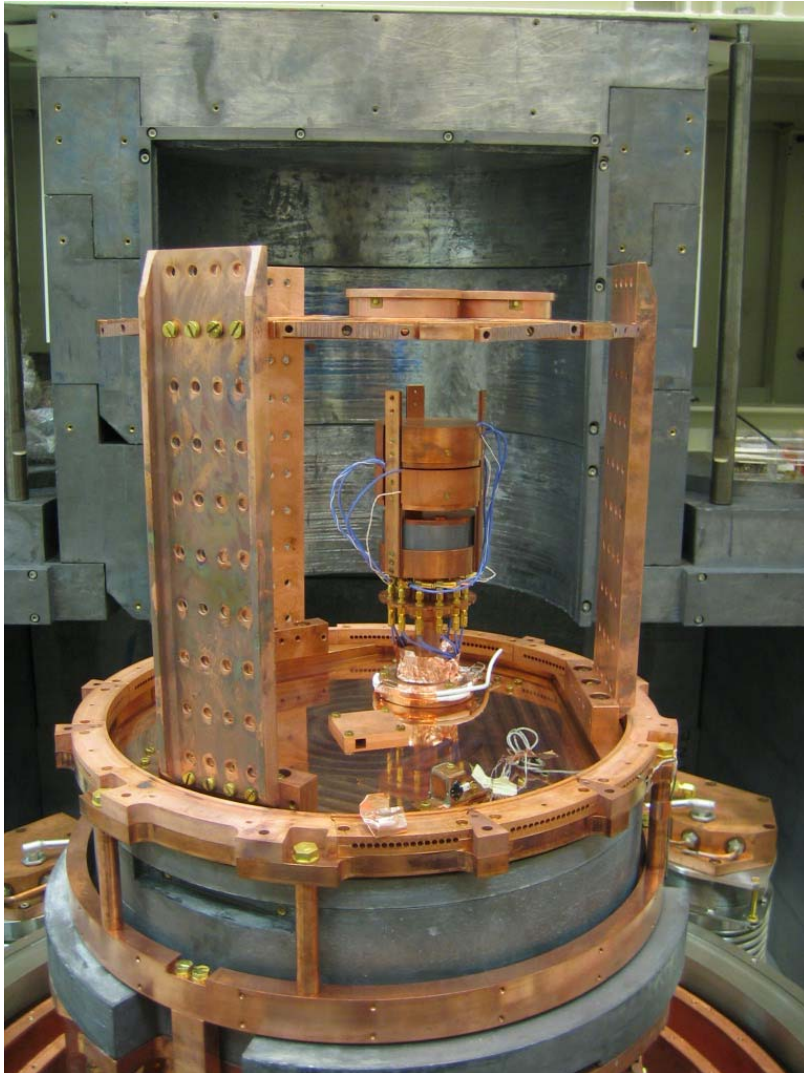


Fit fond & spectres de recul





# Edelweiss-II: amélioration des fonds



## ◆ Radiopureté

Détecteurs HPGe dédiés pour le contrôle systématique de tous ldes matériaux

## ◆ Salle blanche (classe 100 autour du cryostat, classe 10 000 pour le blindage total)

## ◆ Air déradonisé (de NEMO3)

## ◆ 20 cm Pb (blindage gamma)

## ◆ Blindage neutron

- EDW-I : 30cm paraffine
- EDW-II : **50 cm PE** et meilleure couverture

## ◆ véto $\mu$ (>98% couverture)

- Détecteurs de Neutrons en coïncidence avec les véto (en cours)

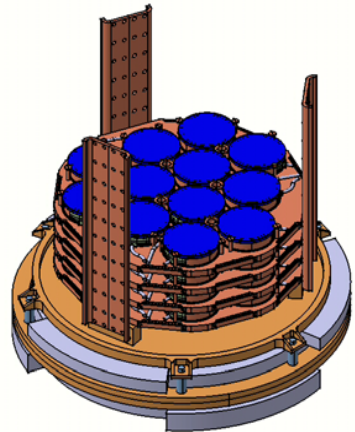
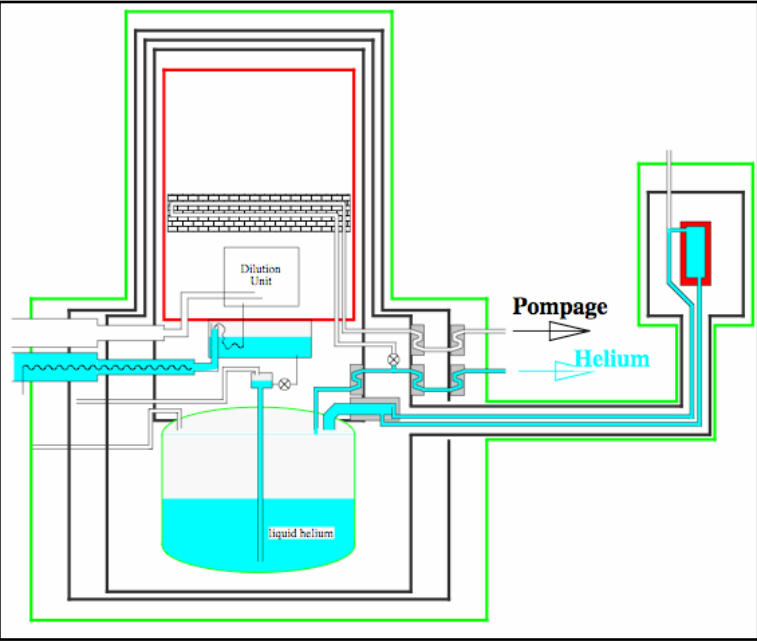
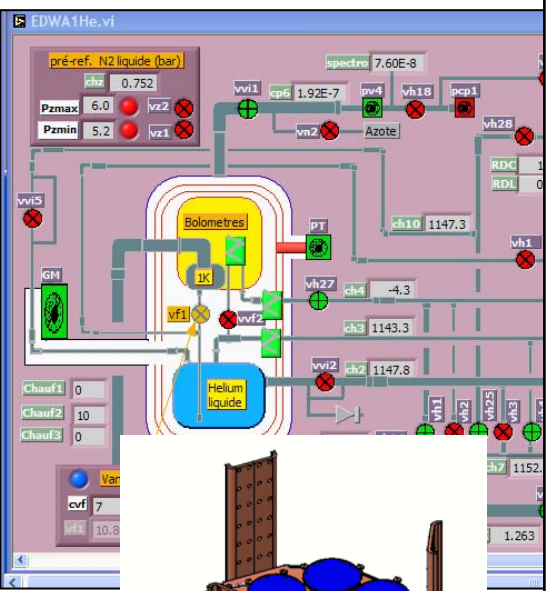
## ◆ Sensibilité attendue (EDW-I \* 100)

$\sigma_{w-n} \approx 10^{-8}$  pb (phase 100 détecteurs)  
**0.002 évt./kg/jour (Erecul>10keV)**

= neutrons venant des  $\mu$  de haute énergie interagissant dans la roche



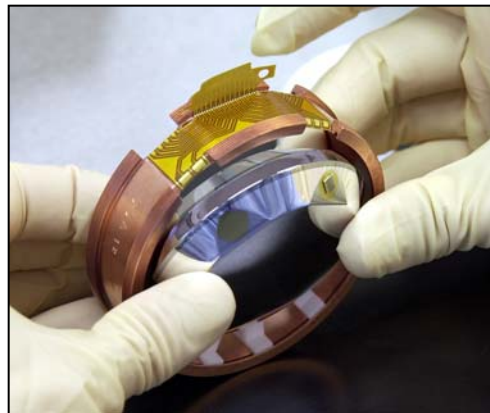
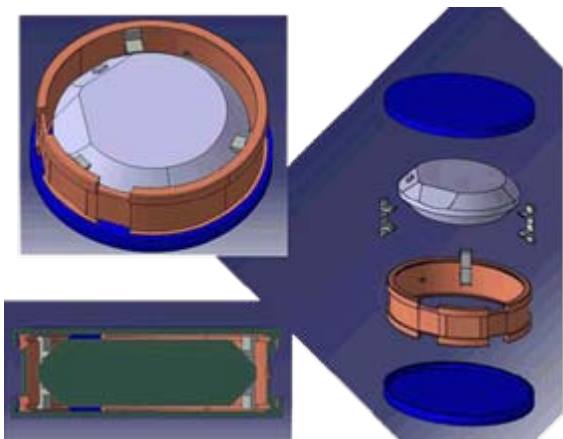
# Edelweiss-II: amélioration des cryostatats



- ✓ Cryostat automatisé
- ✓ Géométrie “renversée”
- ✓ Sans azote: 3 “Pulse tube” (écrans 50K and 80K) and reliquéfacteur He (conso.  $\approx 0$ )
- ✓ large volume 50 l ⇒ auto blindage
- ✓ jusqu’à  $\approx 120$  détecteurs ⇒ statistique ++
- ✓ disposition compacte and hexagonale ⇒ coïncidences ++ (pour fond n)



# Edelweiss-II: amélioration des détecteurs



## **23\*320g Ge/NTD :**

- ◆ Développés au CEA Saclay & par Camberra-Eurisys
- ◆ Sous couche amorphe Ge and Si (**meilleure collection de charge pour les évts de surface**)
- ◆ taille optimisée des NTD et meilleure homogénéité de Ttravail (16-18 mK) :

**résolution  $\approx$  keV**

- ◆ Nouveaux support & connecteurs (Téflon et cuivre seulement)

**Ils sont tous au LSM**



## **- 7\*400g détecteurs Ge/NbSi :**

- ◆ Développés au CSNSM Orsay
- ◆ 2 NbSi thermomètres à films minces NbSi pour la réjection active des **événements de surface**
- ◆ R&D en cours avec détecteurs de 200g en labos.

**1 @ LSM**

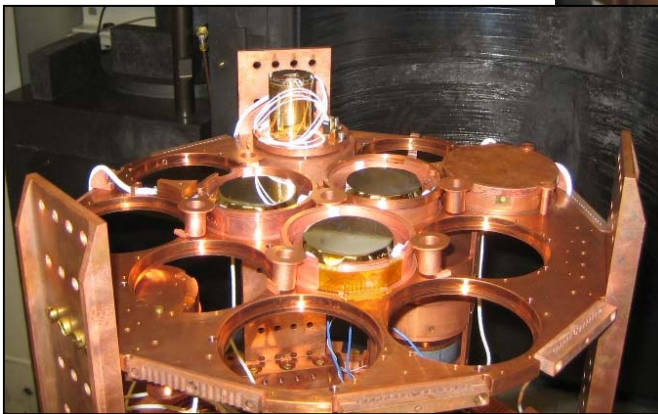
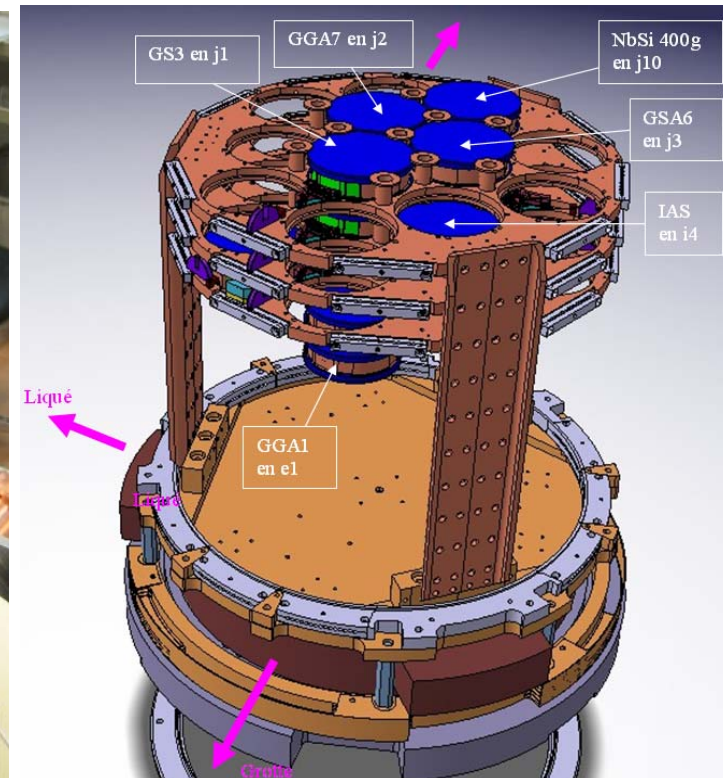
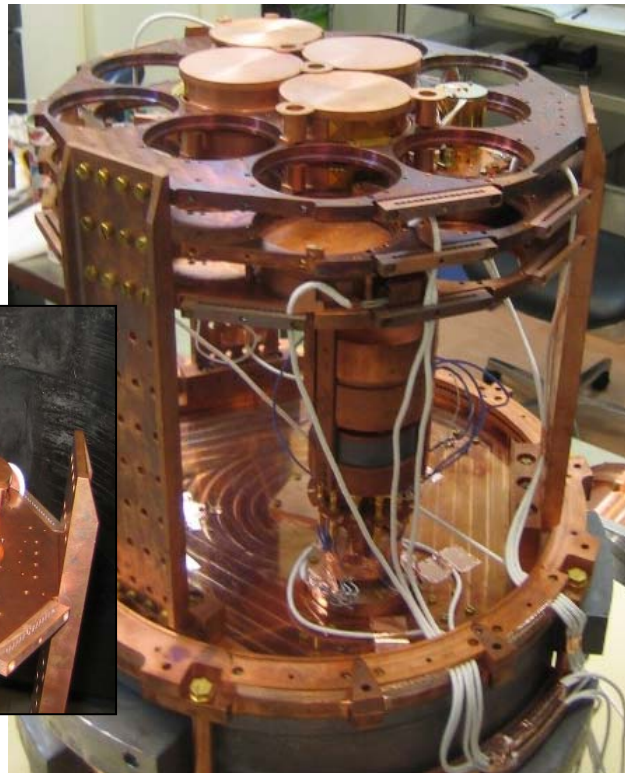
**+ R&D...**





# Le montage d' Edelweiss-II en 2006

- ◆ **8 bolomètres actifs (/15)**
  - **2 EDW-I Ge/NTD** tour à la EDW-I
  - **4 EDW-I Ge/NTD** supports EDW-II :
    - 3 centraux sans écran Cu, 1 en coïncidence**
  - **1 200g Ge/NbSi** testé au LSM (en 2004)
  - **1 400g Ge/NbSi**
  - **1 IAS 50g** “chaleur et lumière” (saphir; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)





# Edelweiss-II (au terme de 2006)

- ✓ **fonctionne depuis Janvier 2006**
- ✓ **Cryogénie, Electronique, Acquisition OK pour runs à bas bruit de fond**
- ✓ **améliorations pour déclencher à basse E (microphonie !)**
- ✓ **détecteurs en fonction: 6 Ge/NTD, 1 400g Ge/NbSi et 1 50g Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> IAS**
  - **Premiers tests de fond :           Fond  $\gamma$  = 1/2 EDW-I**
  - **Fond  $\alpha$  = 1/2 EDW-I (dans détecteurs Ge)**
  - **21 Ge/NTD + x Ge/NbSi détecteurs prochainement**
- ✓ **EDW-II pourrait disposer de 30 kg de Ge en 2009**  
**(son concurrent direct CDMS aura “seulement” 5 kg à la même date)**

**...et des retards dûs à des problèmes de “manpower”**



## □ Détection de la Matière noire

Avec discrimination « Lumière & chaleur »

- ROSEBUD (Ge-NTD; tunnel du Canfranc)

Collaboration IAS / Univ de Saragosse

- CRESST (TES; tunnel du GranSasso)

Collaboration MPI & TU München, Univ. d'Oxford, Univ. de Tübingen

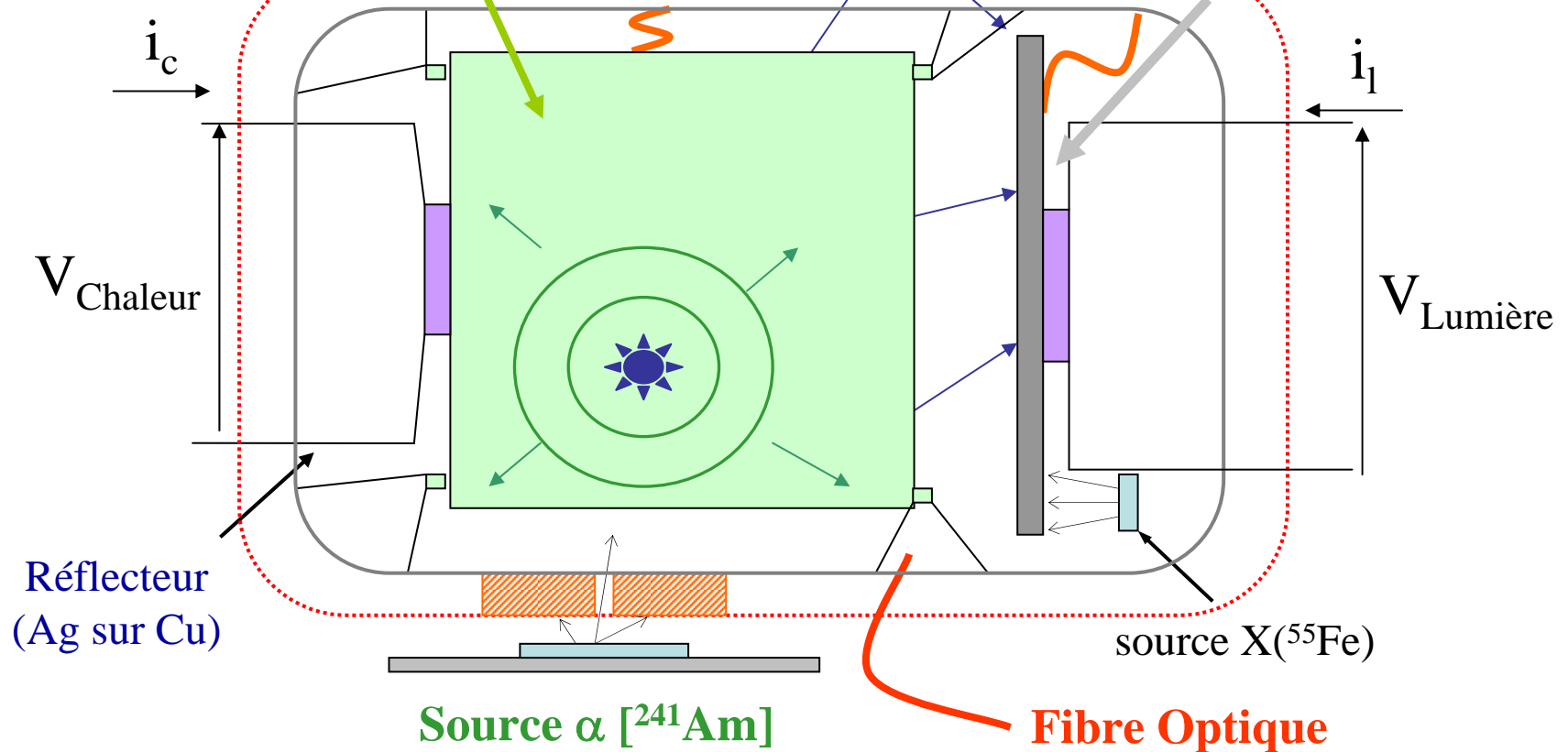


# Bolomètres massifs scintillants

Cristal scintillant

20 mK

Détecteur optique  
▪ disque Ge  
▪  $\Phi=25\text{mm}; \sim 100\ \mu\text{m}$

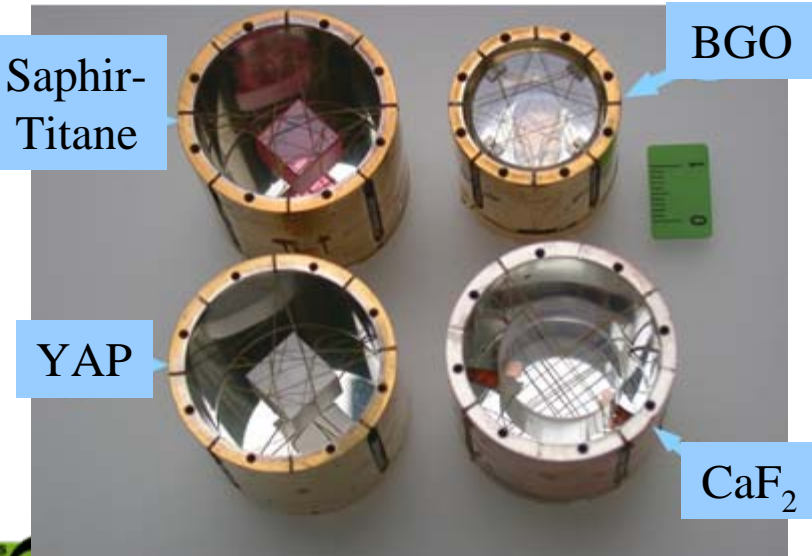
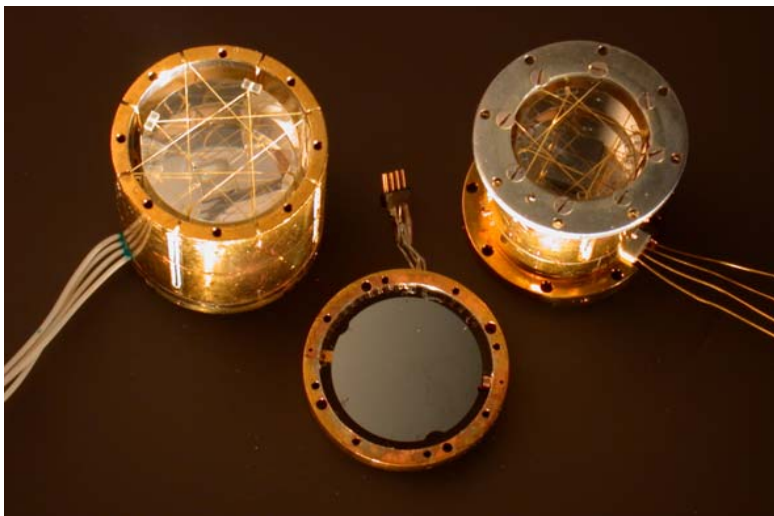


Thermistor R(T) [Ge-NTD]



# Bolomètres scintillants: R&D et réalisations IAS

BGO 91g & 46g; disque Ge Ø25mm



Tests à 20mK de cristaux

- **scintillants à 300K:**  
CaWO<sub>4</sub>, BGO, GSO, YAP, SrF<sub>2</sub>,...
- **non « scintillants » à 300K** mais « d'intérêt »  
Saphir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), TeO<sub>2</sub>, LiF,...

→ à 20mK tout scintille, tout discrimine !

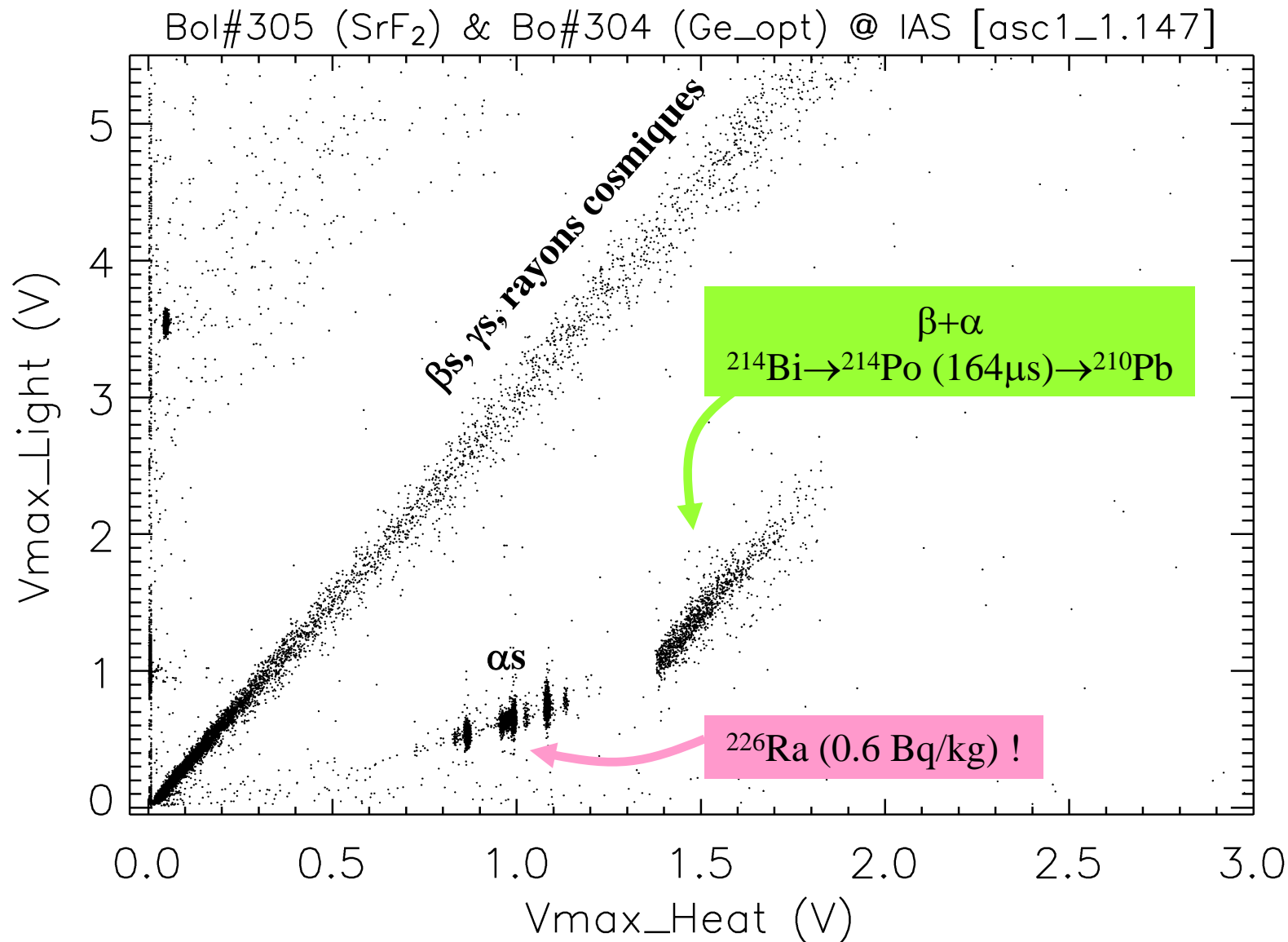
- Rendements lumineux ?
- Mécanismes d'émission ?
- Propriétés thermiques ?
- Radioactivités internes ?
- maille moléculaire !

détecteurs optiques + gros, + fins + froid

interprétation des reculs + difficile...

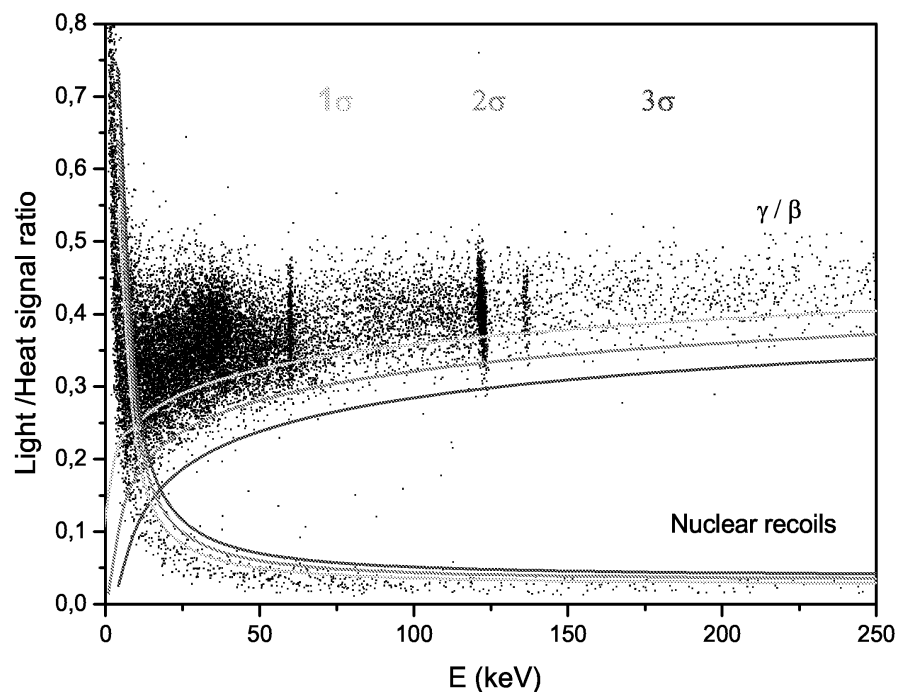
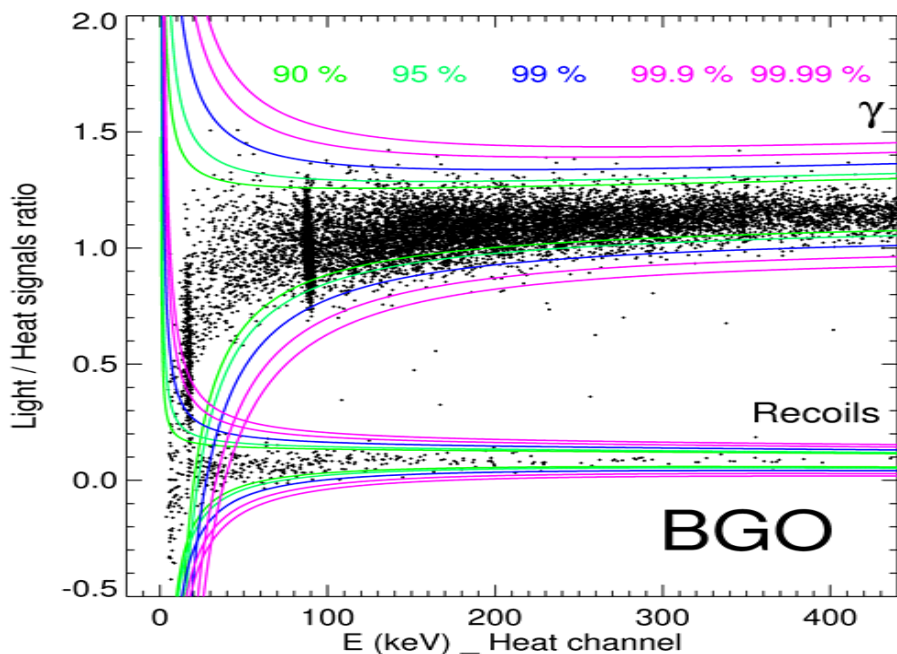
- **déclinaison « à l'infini » des cibles !**
- pas de phénomènes de surface
- extinctions (quenching) >> Ge

# Exemple de discrimination : bolomètre de 54g en SrF<sub>2</sub>





# Au menu de ROSEBUD en 2007: BGO et saphir



- **46g BGO**
- radioactivité:  $^{207}\text{Bi}$
- seuil réjection à **90% CL: 23 keV**

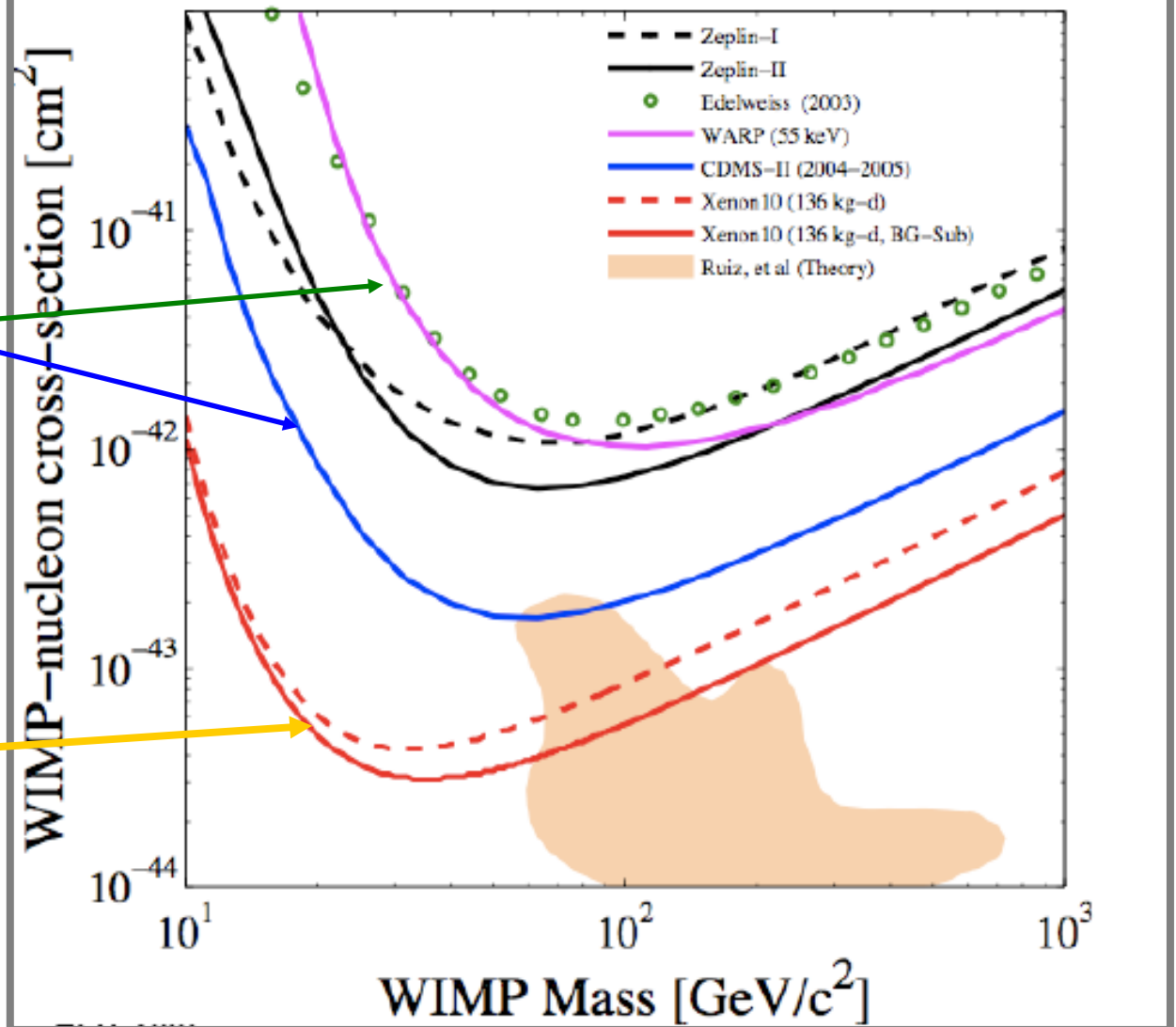
- **50g saphir**
- radioactivité ?
- seuil réjection à **90% CL: 10 keV**

Tests au Canfranc en 2007 (neutrons ambiants & et rayons cosmiques ↓↓↓↓):

**Zones mortes ? Evénements atypiques ? Radioactivités internes?**

# La détection directe de la matière noire: une rude compétition !

## Spin-Independent Exclusion Limits (90% C.L.)



Détecteurs  
bolométriques  
(EDELWEISS;  
CDMS)

Détecteur à  
Xénon liquide  
(xenon10)  
avril 2007



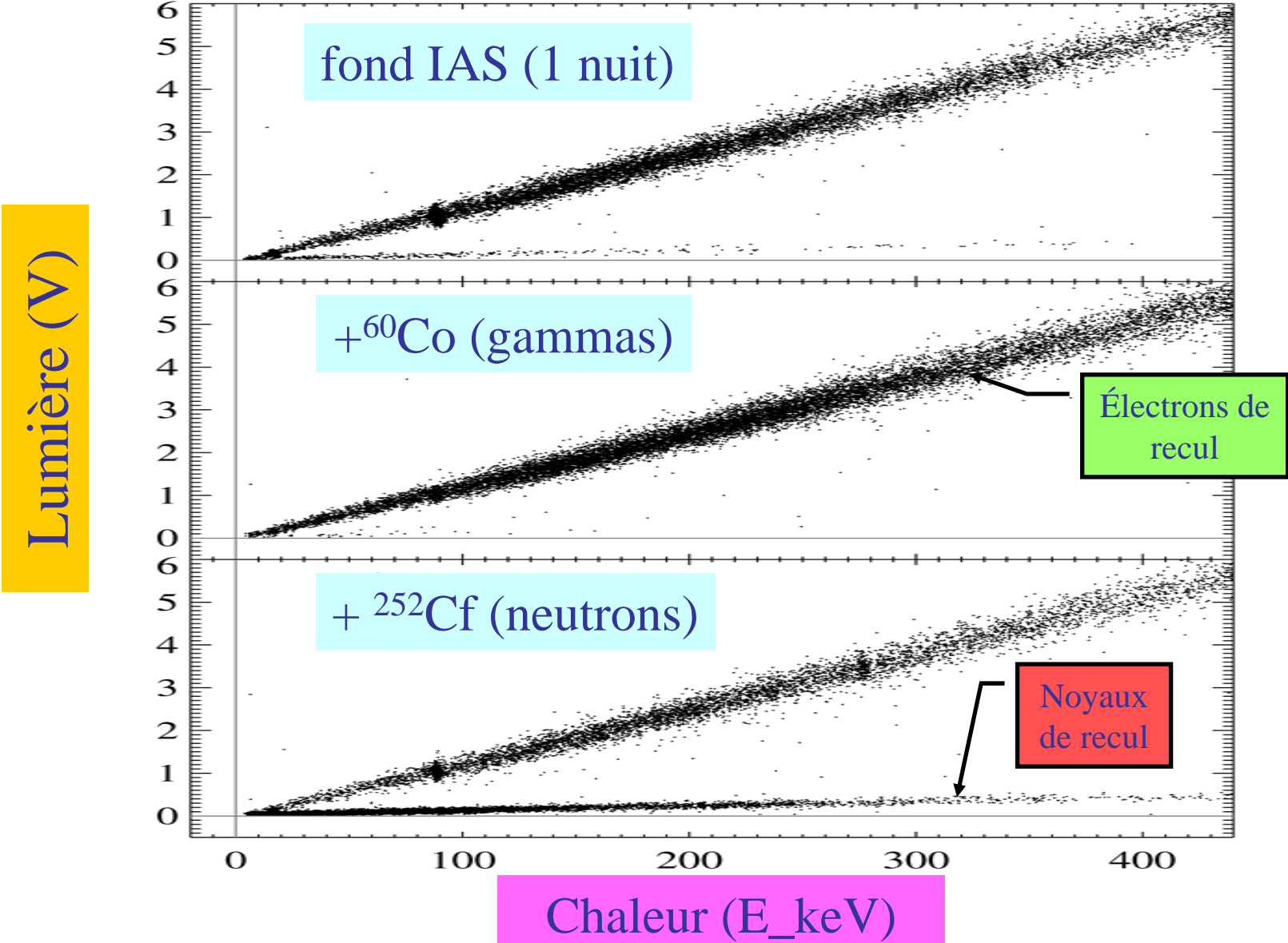
□ Désintégrations rarissimes  
(par bolomètres scintillants !)

Désintégrations alpha de

- $^{209}\text{Bi}$  (IAS; 2002)  $T_{1/2} \approx 2 \cdot 10^{19}$  ans
- $^{180}\text{W}$  (CRESST; 2004)  $T_{1/2} \approx 2 \cdot 10^{18}$  ans

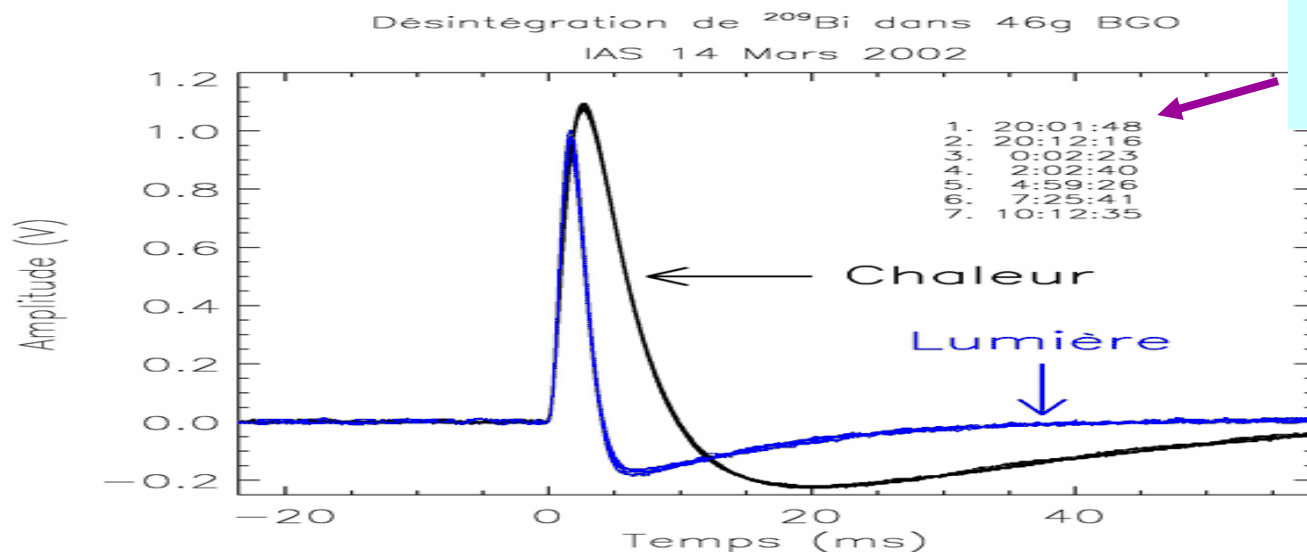
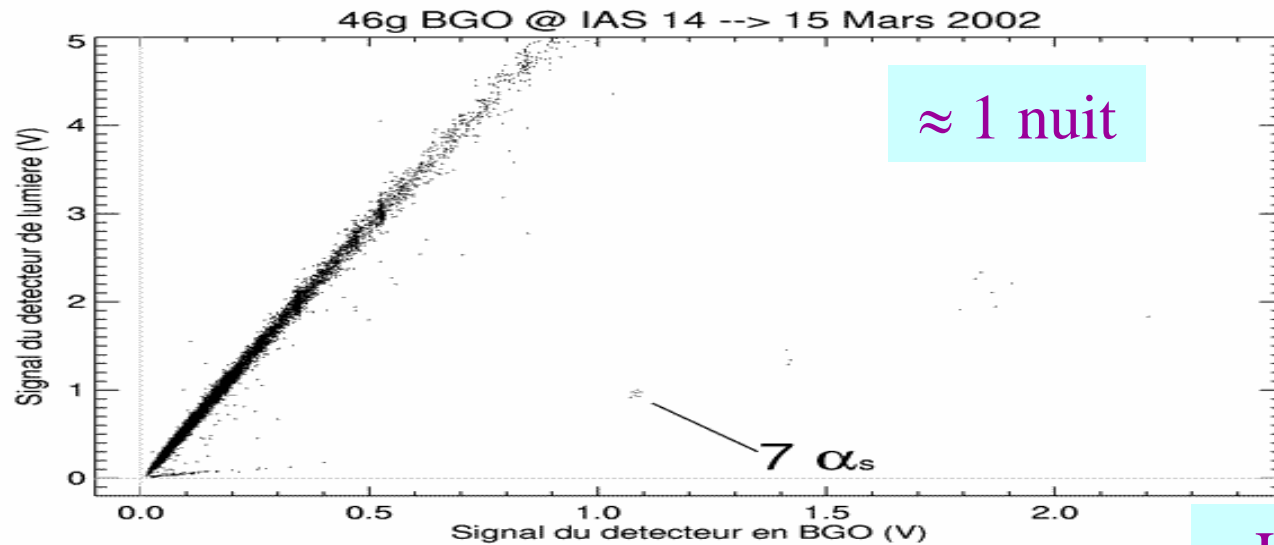


# Discrimination à l'oeuvre dans 46g BGO (basse énergie)





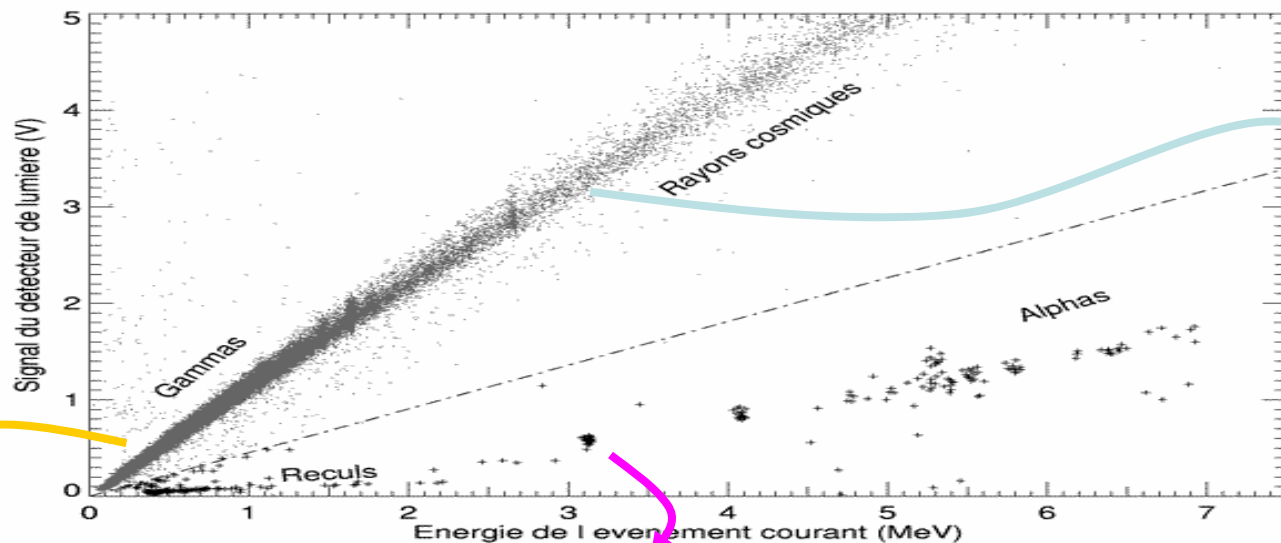
# BGO à « haute » énergie: 7 (évts Bi-zarres)!



Heures  
d'arrivée



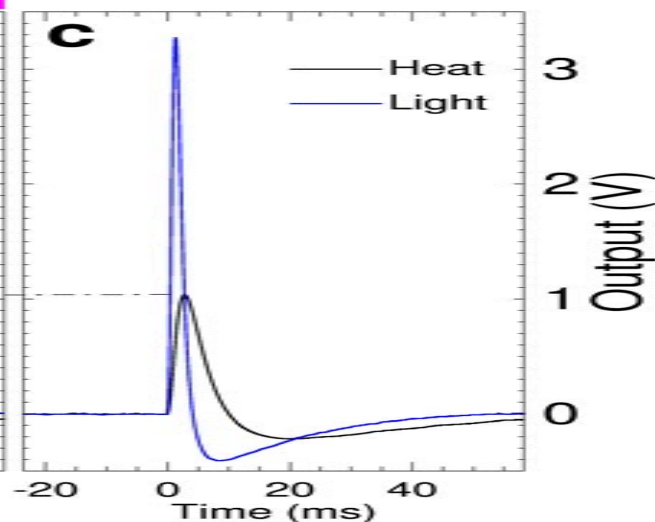
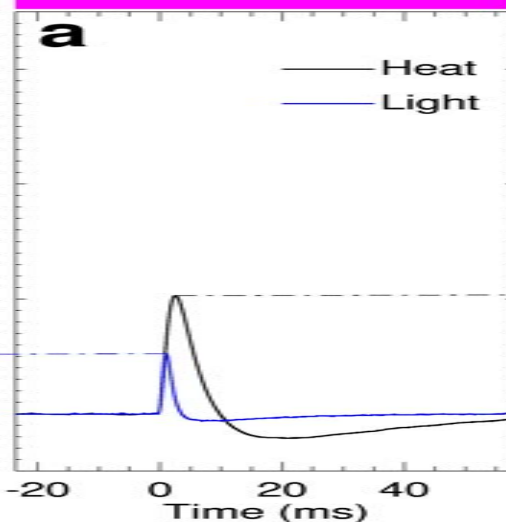
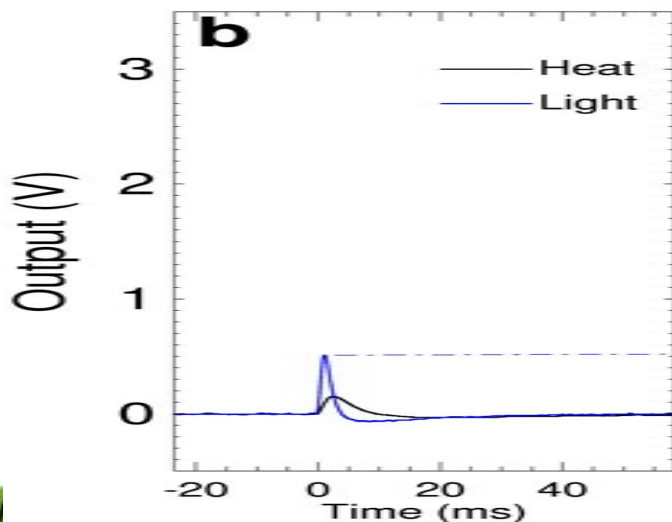
# Diagramme de discrimination dans 46g BGO (5j)



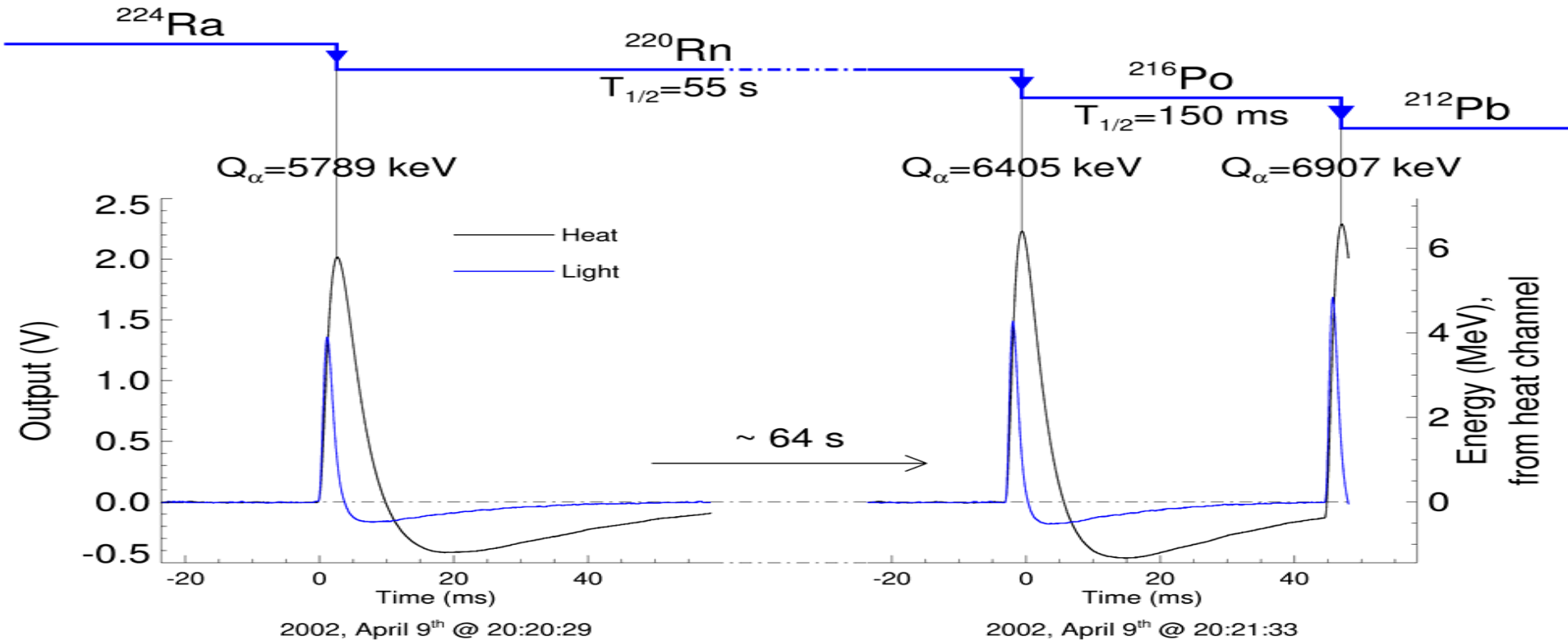
Gamma ray  
E~500 keV

<sup>209</sup>Bi decay  
E~3137 keV

Cosmic ray event  
E~3.4 MeV

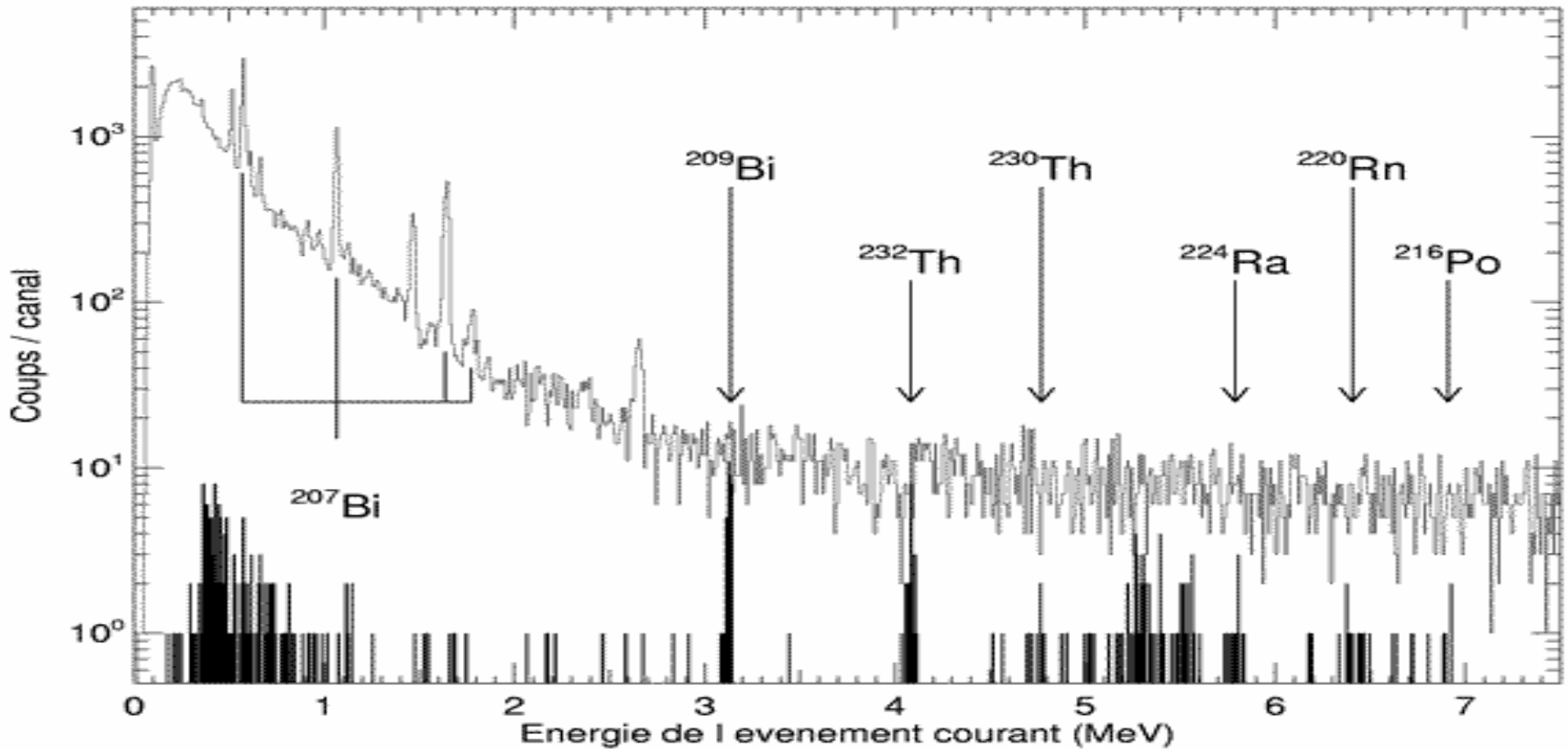


# Identification par cascades $\alpha$



Une triple signature unique !

# Spectres dans 46g BGO



Contamination  $^{207}\text{Bi}$  ( $\approx 3$  Bq/kg)

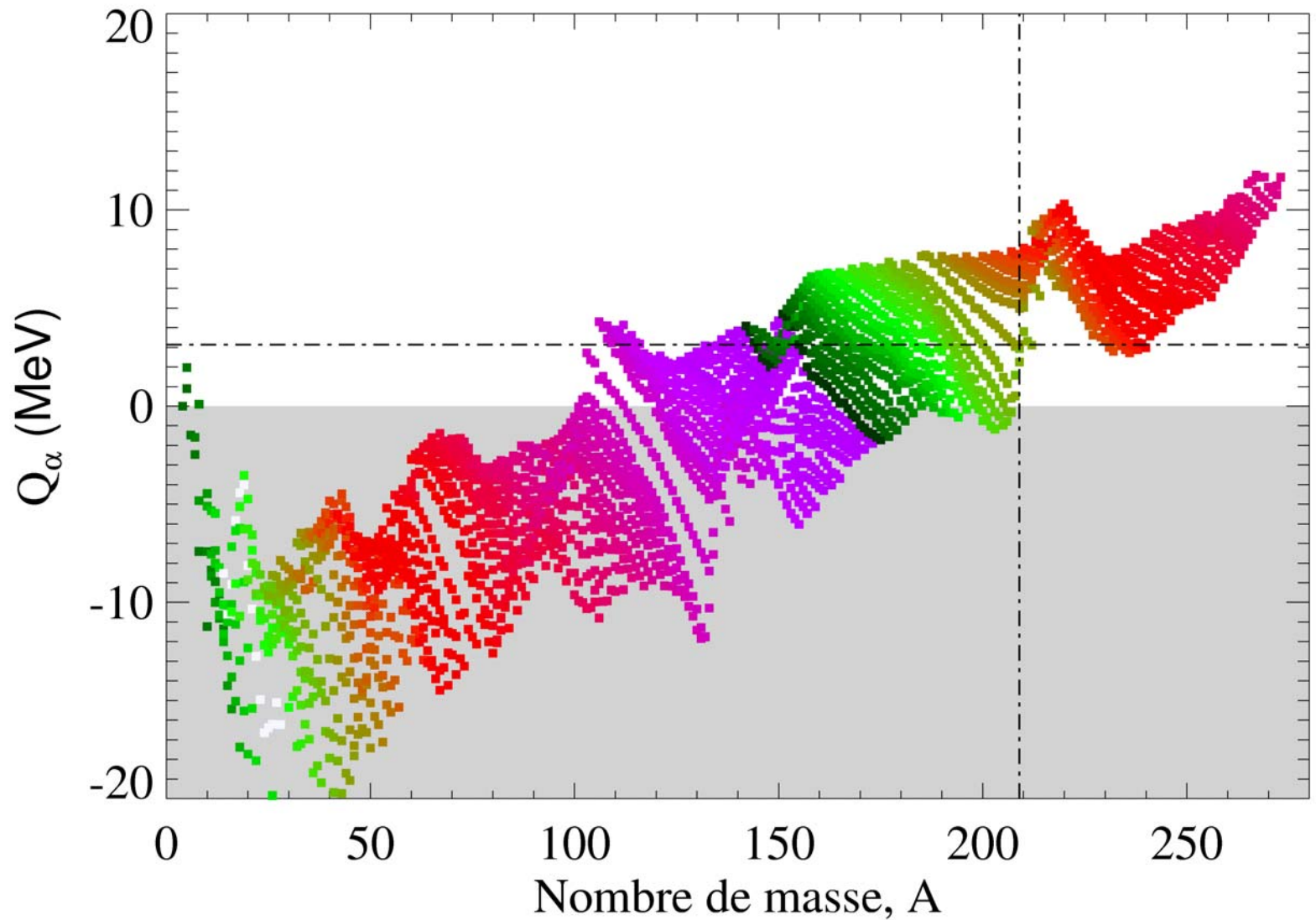
$^{209}\text{Bi}$



$$Q_{\alpha} = 3130 \pm 16 \text{ keV}$$

$$T_{1/2} = 1.44 - 1.95 \cdot 10^{19} \text{ ans}$$

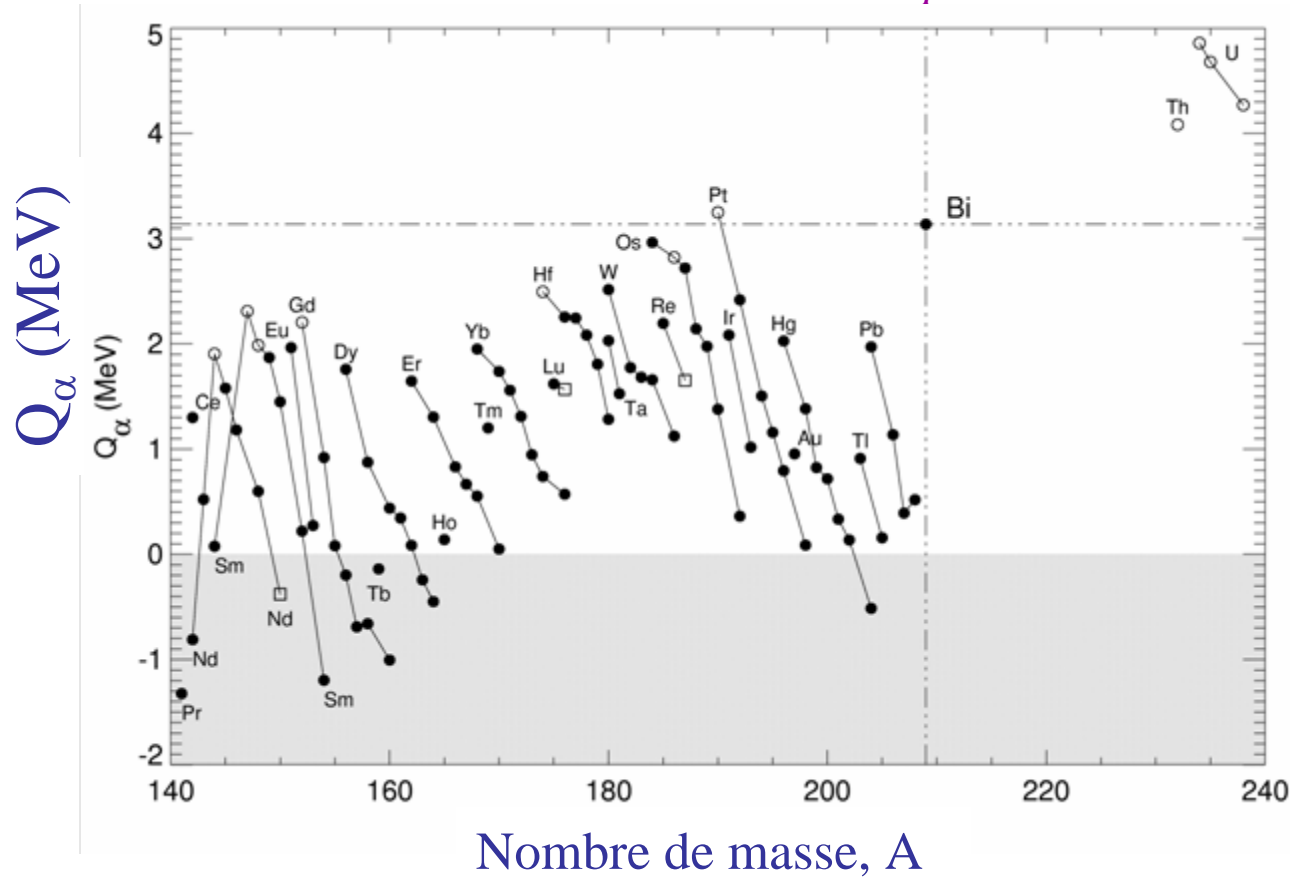
# Isotopes & excès de masse « $\alpha$ », $Q_\alpha$





# Isotopes lourds stables, $Q_\alpha$

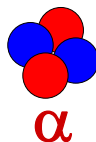
*d'après Tables Audi et al. (1997)*



$$Q_\alpha[{}^{209}\text{Bi}] = 3137 \pm 0.8 \text{ keV}$$

**3077 keV**

$R \approx 8 \mu\text{m}$

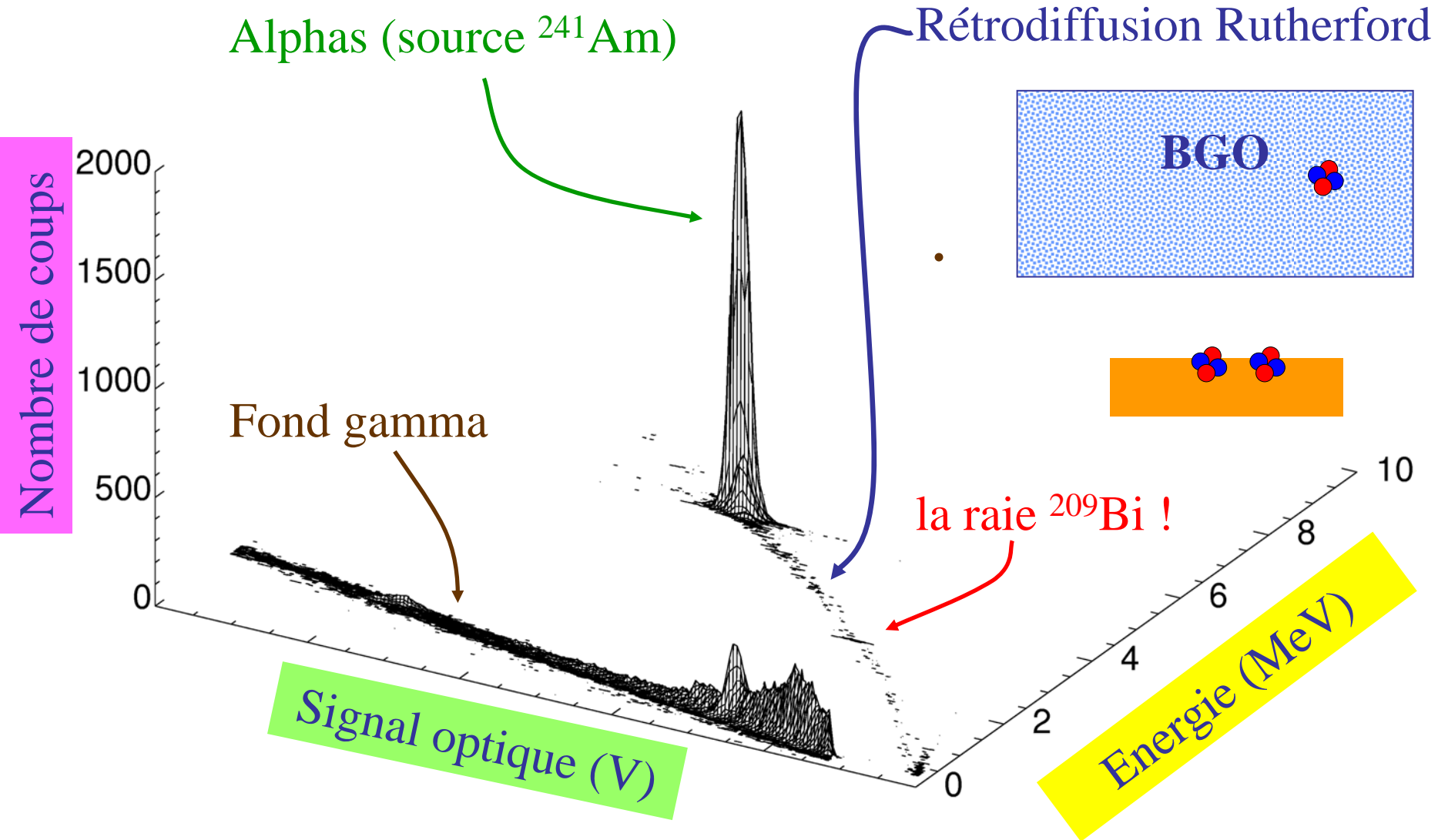


**60 keV**

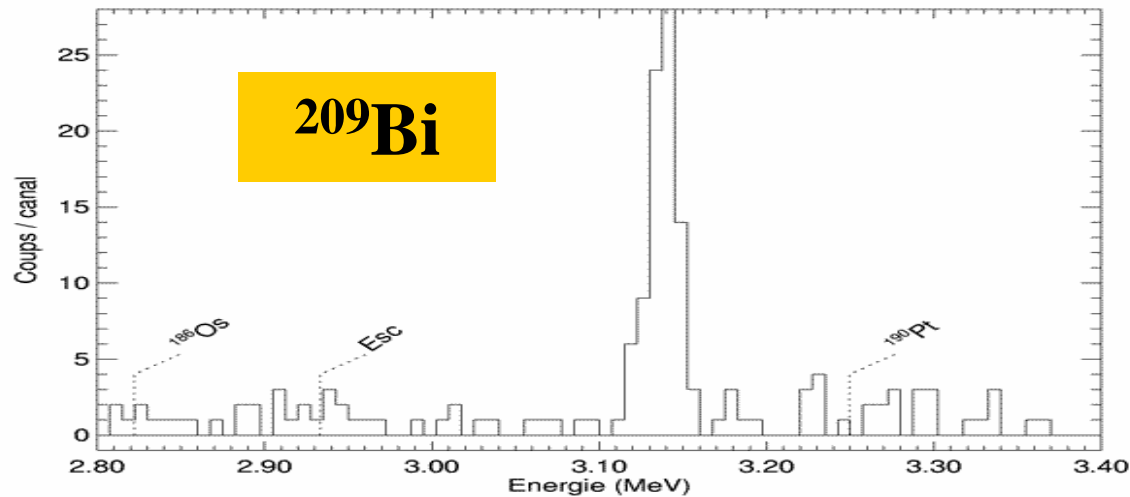
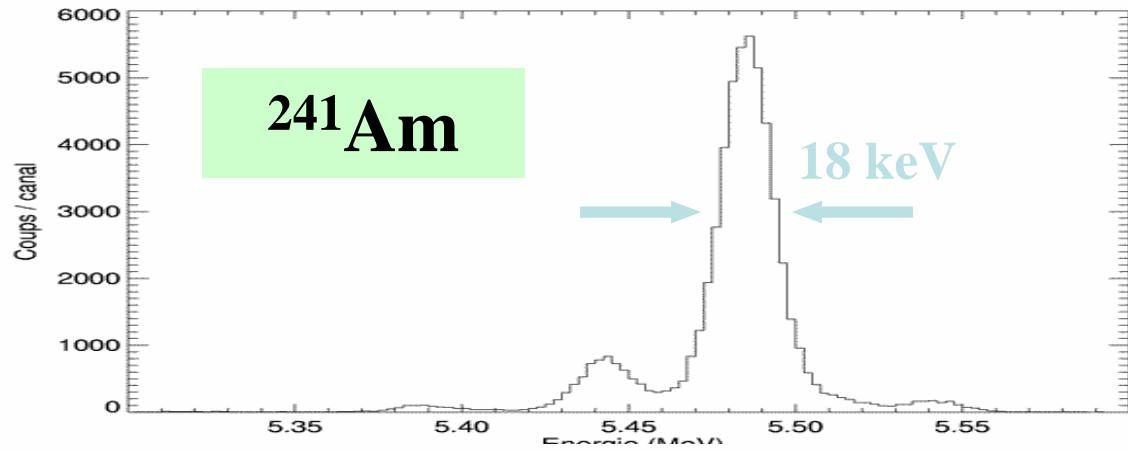
$R \approx 200 \text{ \AA}$



# Discrimination dans 91g BGO



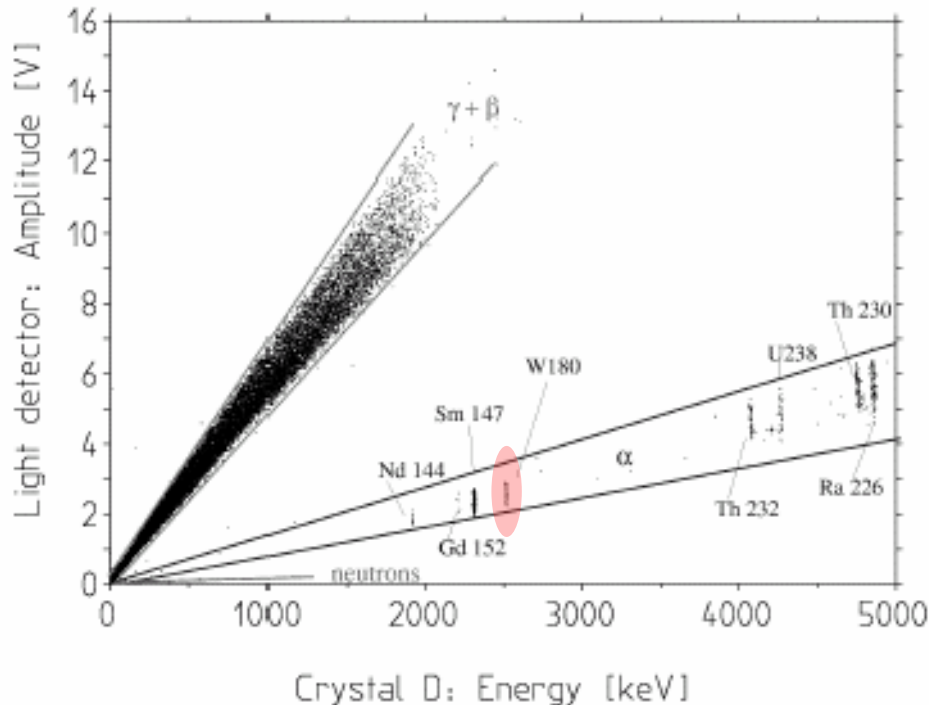
# Spectres alphas finaux



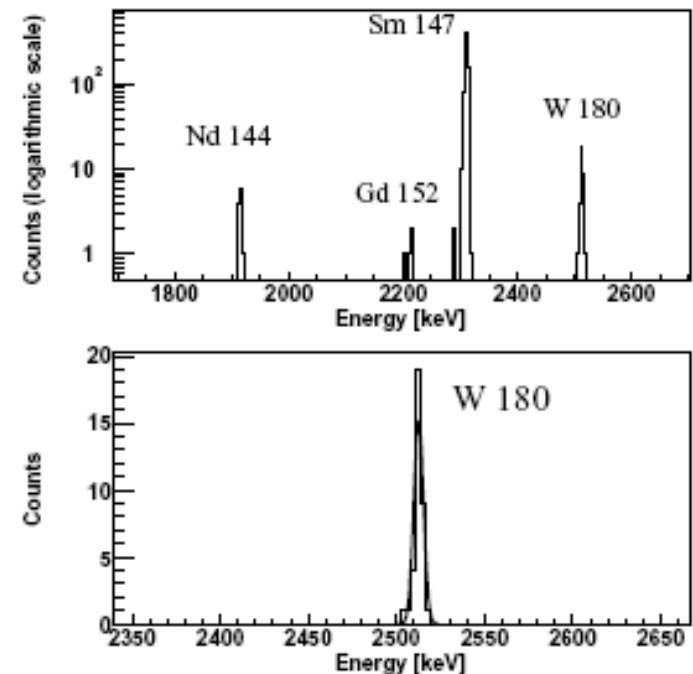
$Q_\alpha = 3137 \pm 1 \text{ (stat.)} \pm 2 \text{ (syst.) keV}$   
 $T_{1/2} = 1.9 \pm 0.2 \cdot 10^{19} \text{ ans}$

# Au tour de $^{180}\text{W}$ ... (collaboration CRESST en 2004)

Fond haute énergie dans un bolomètre  $\text{CaWO}_4$  de CRESST



Spectres  $\alpha$



« The natural -decay of  $^{180}\text{W}$  has been unambiguously detected for the first time. The peak is found in a ( $\gamma$ ,  $\beta$  and neutron)-free background spectrum. This has been achieved by the simultaneous measurement of phonon and light signals with the CRESST cryogenic detectors. A half-life of  $T_{1/2} = (1.8 \pm 0.2) \times 10^{18}$  y and an energy release of  $Q = (2516.4 \pm 1.1 \text{ (stat.)} \pm 1.2 \text{ (sys.)})$  keV have been measured. New limits are also set on the half-lives of the other naturally occurring tungsten isotopes. »

## Comptes-rendus des conférences

[tous les deux ans]

- ❑ LTD (Low Temperature Detectors)
  - aspects techniques
  - publiés généralement dans NIMA
  - LTD-11 à Tokyo en 2005
  - **LTD-12 à Paris en 2007**
  
- ❑ TAUP (Topics in Astroparticle and Underground Physics)
  - physique des expériences
  - publiés
    - ≤2003: généralement dans Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)
    - 2005: Journal of Physics: Conference Series (accès libre)
  - TAUP-2005 à Saragosse
  - **TAUP-2007 à Sendai (Japon)**