



**IN2P3**

Institut national de **physique nucléaire**  
et de **physique des particules**

# Astroparticules et neutrinos à l'IN2P3

Gabriel CHARDIN  
CNRS/IN2P3

[www.in2p3.fr](http://www.in2p3.fr)

# Astroparticules et Neutrinos IN2P3

- Ondes gravitationnelles
- Cosmologie: Dark Matter et Dark Energy
  - Dark Matter direct detection
- Rayonnement cosmique:
  - AUGER and beyond (EUSO-Ballon, JEM-EUSO)
  - HESS-2 et CTA (et Fermi)
- Neutrinos:
  - Astronomie neutrino: Antarès et KM3/MEUST
  - Propriétés fondamentales des neutrinos

# Ondes gravitationnelles

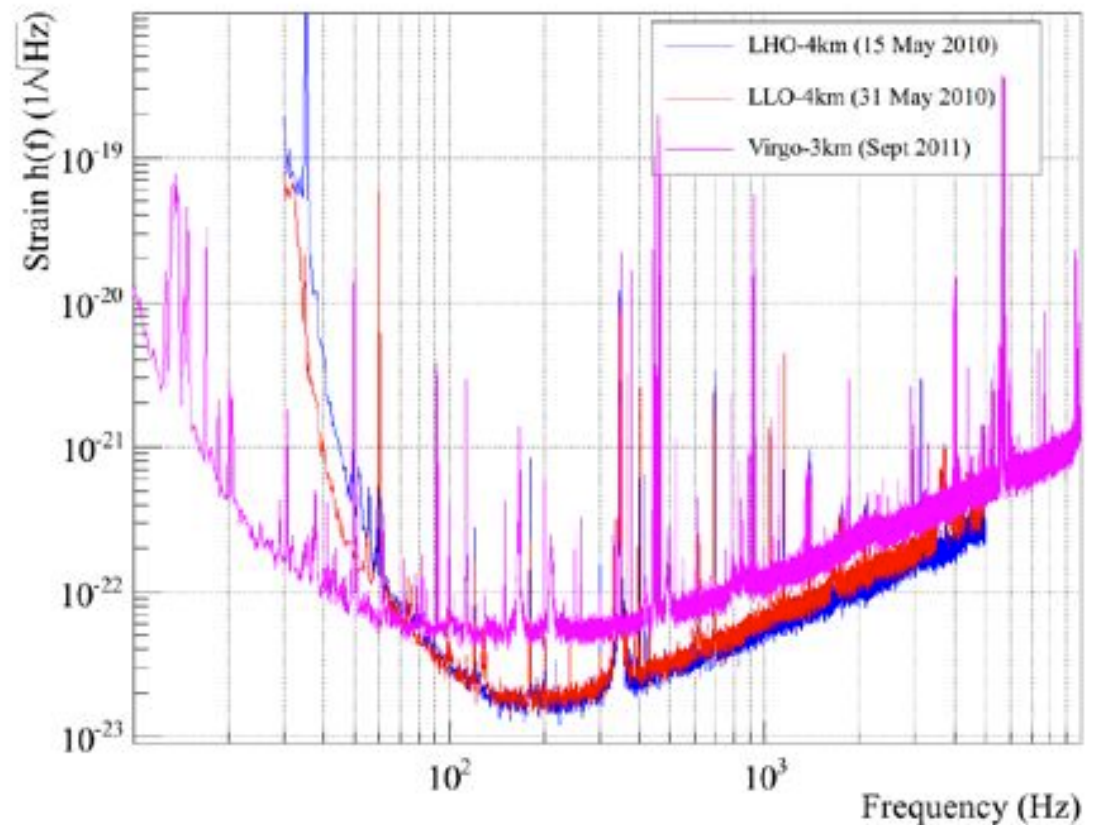
- Advanced Virgo
- Investissement CNRS (IN2P3, mais également INSU, INP) depuis près de 20 ans
- Meilleur niveau mondial avec LIGO
- Consortium LIGO-VIRGO
- Soutien très fort
- Rapprochement avec LIGO-India sur AdV, KAGRA...



# Ondes gravitationnelles: VIRGO

-VSR4 run : The best sensitivity ever reached by an interferometer at low frequency (see sensitivity curve below) explains a special interest to Lf studies :

- Investissement CNRS (IN2P3, INSU, INP) depuis près de 20 ans
- Meilleur niveau mondial avec LIGO
- Renforcement collaboration AdV
- Soutien très fort
- Demande de LIGO-India sur AdV, KAGRA
- **Détection à l'horizon 2016**

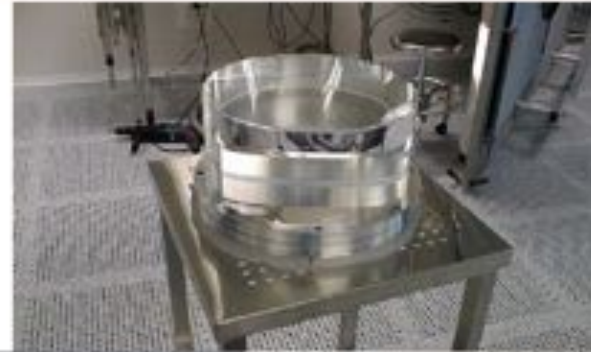


# Ondes gravitationnelles: Advanced VIRGO



## Mirrors

- Main drivers
  - ◆ Thermal noise reduction
  - ◆ Radiation pressure noise mitigation
  - ◆ Scattering losses reduction
- Use state of the art coating in 2011
  - ◆ Ti:Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> reference solution
- Larger mass
  - ◆ 35 cm diameter, 20 cm thick
  - ◆ 42 kg
- Low absorption fused silica
- Scattering loss reduction
  - ◆ Specs: flatness < 1 nm, Roughness < 1 Å
  - ◆ Reference solution: corrective coating
  - ◆ Alternative: ion beam polishing

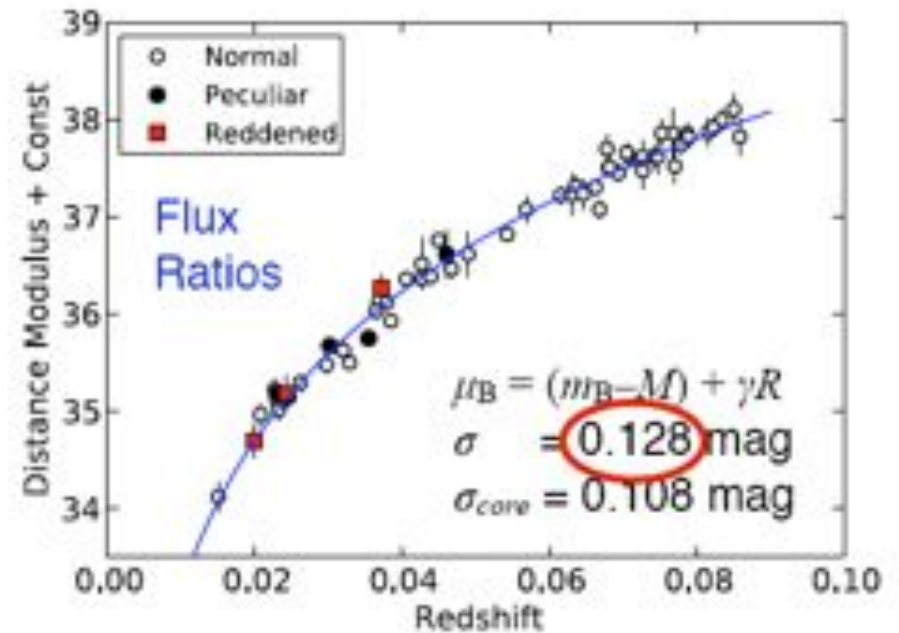
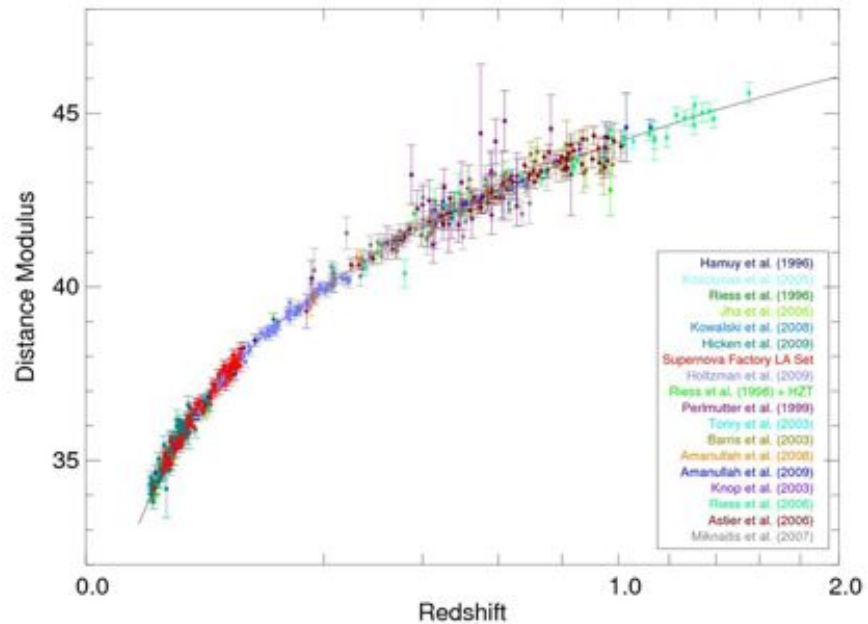


# Cosmologie

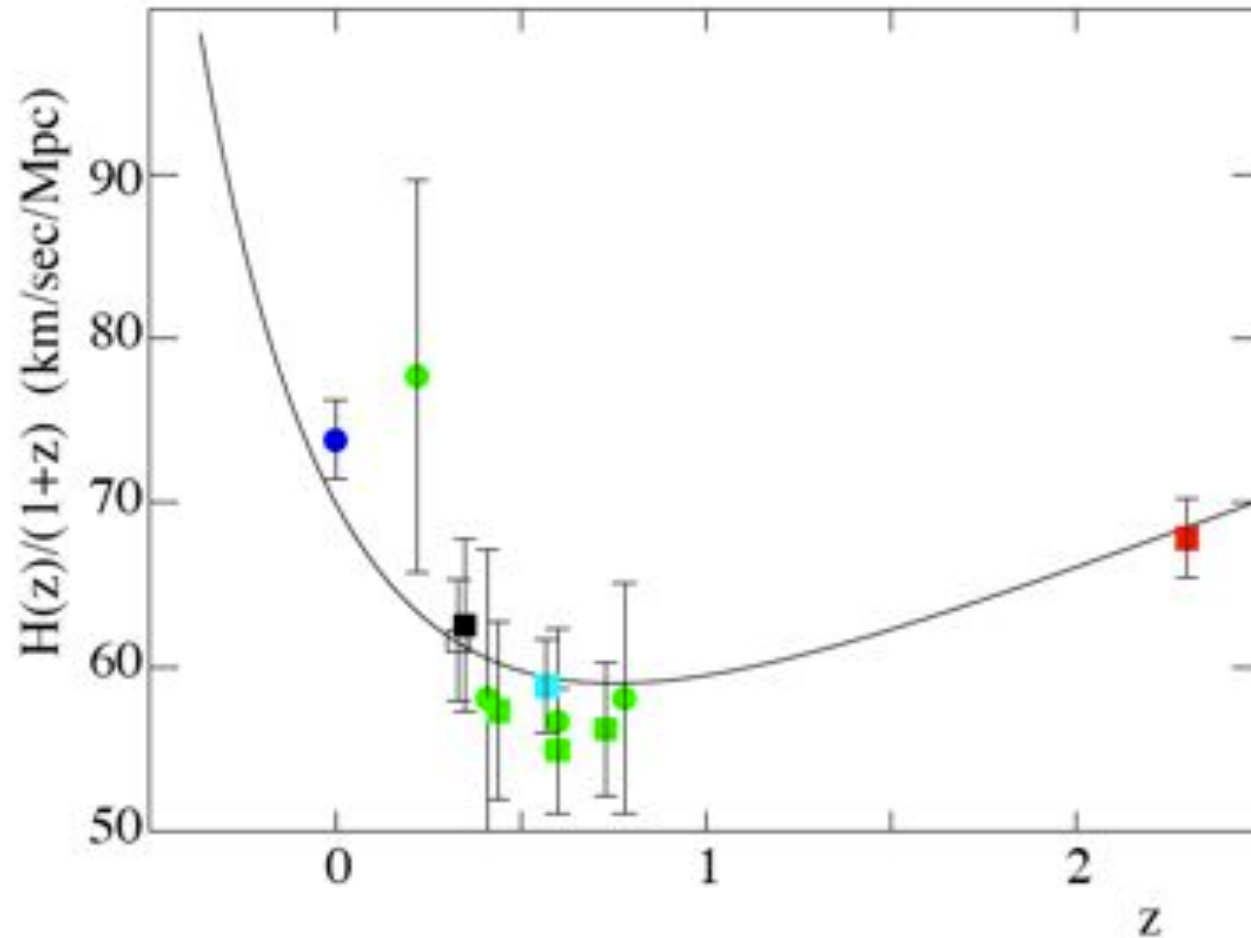
- SNLS, SNF: achèvement, analyse des données, publications, très haute visibilité française
- EUCLID: mission M2 approuvée par l'ESA, participation de l'IN2P3 principalement dans test et intégration détecteurs IR et segment sol (données)
- LSST: programme majeur d'observation au sol à dominante US (site au Chili), France « 51<sup>e</sup> état »

# Cosmologie

- SNF: vers une publication cosmologie



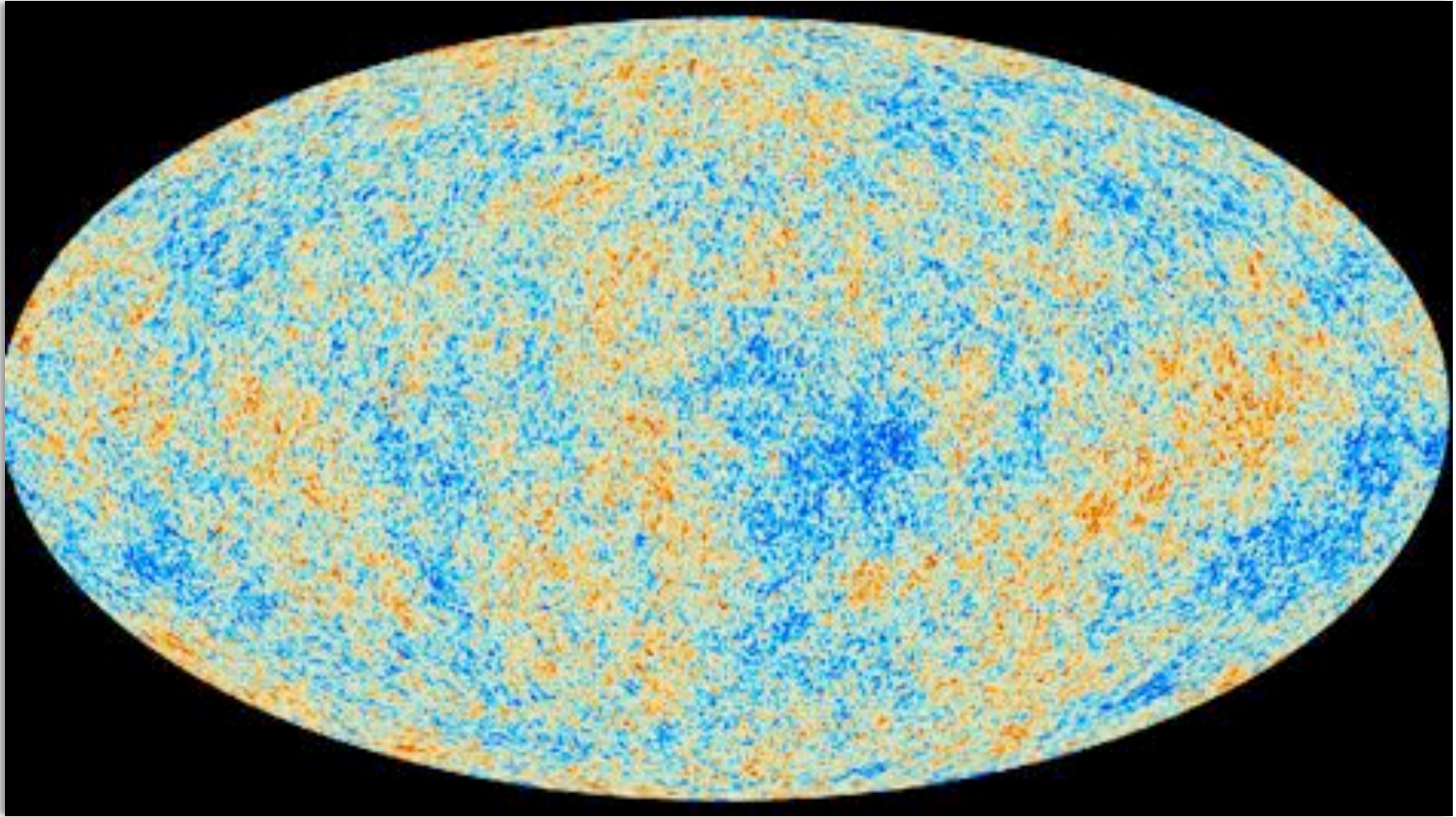
# Signal BAO dans la forêt Lyman alpha



**Fig. 21.** Measurements of  $H(z)/(1+z)$  vs  $z$  demonstrating the acceleration of the expansion for  $z < 0.8$  and deceleration for  $z > 0.8$ . The BAO-based measurements are our point at  $z = 2.3$  (red square), the SDSS DR7 BAO measurement at  $z = 0.35$  [Xu et al. (2012); filled black square] and [Chuang & Wang

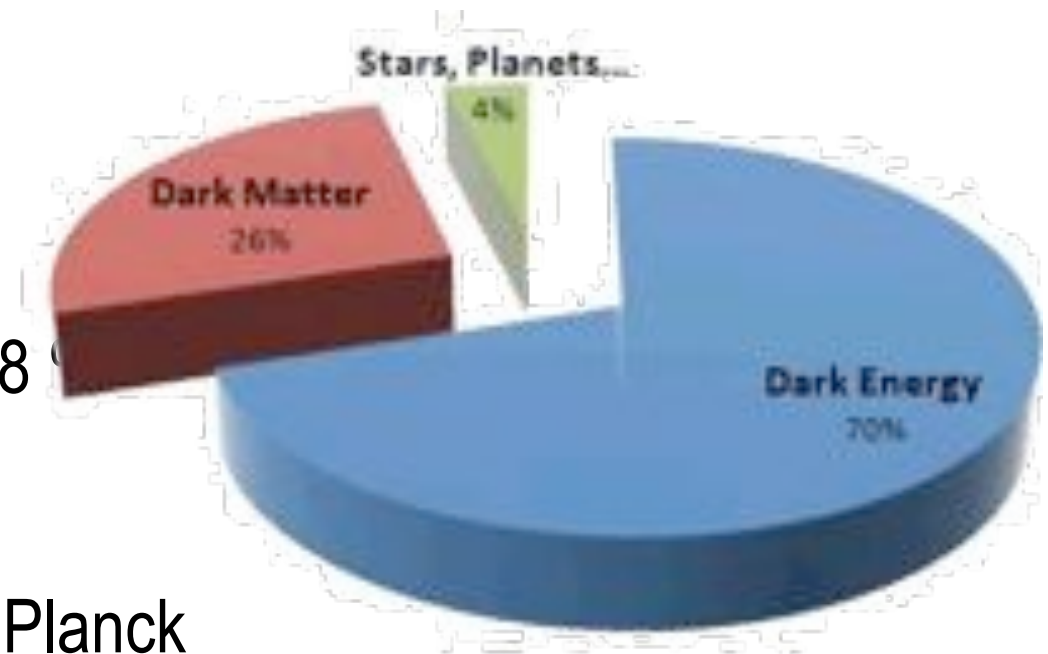


# Le CMB vu par Planck-HFI



# L'univers selon Planck

- Energie Noire  $\Omega_{DE} \approx 69.4 \%$   
(avant Planck  $\approx 73\%$ )
- Matière Noire  $\Omega_{DM} \approx 25.8 \%$   
(avant Planck  $\approx 23\%$ )
- Matière ordinaire (nucl.)  $\approx 4.8 \%$   
(avant Planck  $\approx 4.3 \%$ )
- Taux d'expansion univers  
 $H_0 \approx 67.15 \text{ km/s/mpc}$  (avant Planck  
 $\approx 70$ )
- Age de l'Univers : 13.82 milliards  
d'années



# Cosmologie

- Au delà de Planck:
  - R&D QuBIC, NIKA, vers CoRE
- Utilisation des ressources françaises développées pendant plus de 20 ans dans le domaine des détecteurs cryogéniques et de la cryogénie TBT spatiale ou sol: vers une mission « Polarisation Modes B »



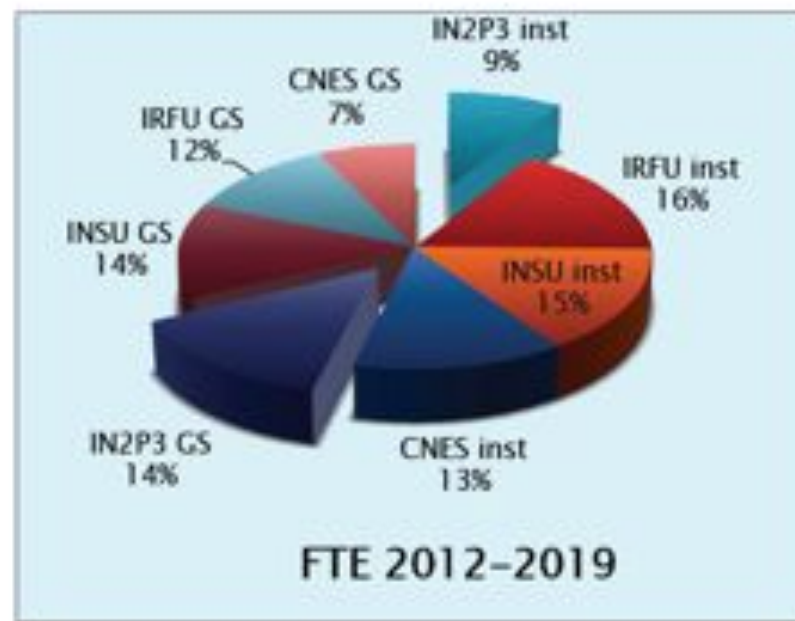
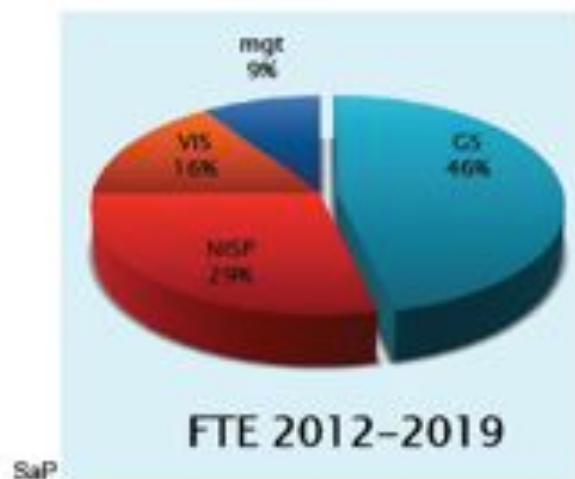
# EUCLID en France

## La participation française

- CNRS/IN2P3 APC, CCIN2P3, CPPM, IPNL, LPNHE
- CNRS/INSU IAP, IAS, LAM, Nice, Toulouse
- IRFU

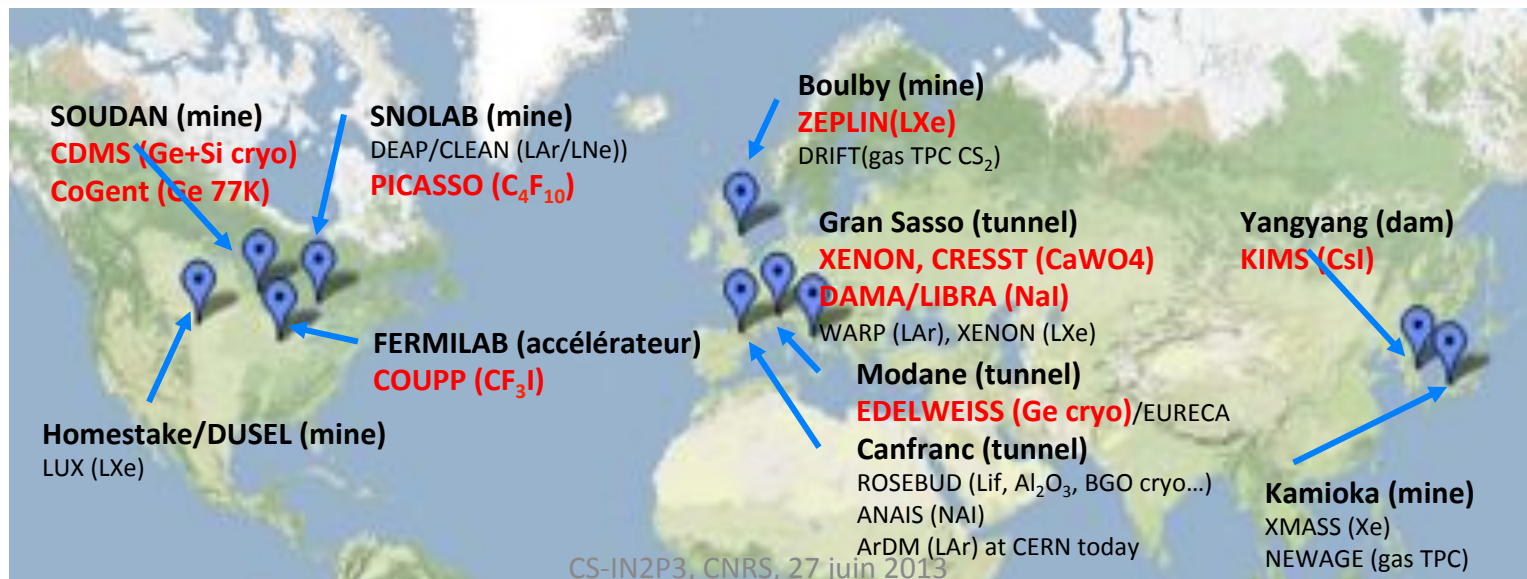
- CNES participation en investissement (~ 40 Meuros) + FTE (management et GS)
- CCIN2P3 est proposé comme centre de données France (SDC - Fr)
- Permanents labos estimés ~480 FTE\*

\*2012- 2019, non inclus science et CDD



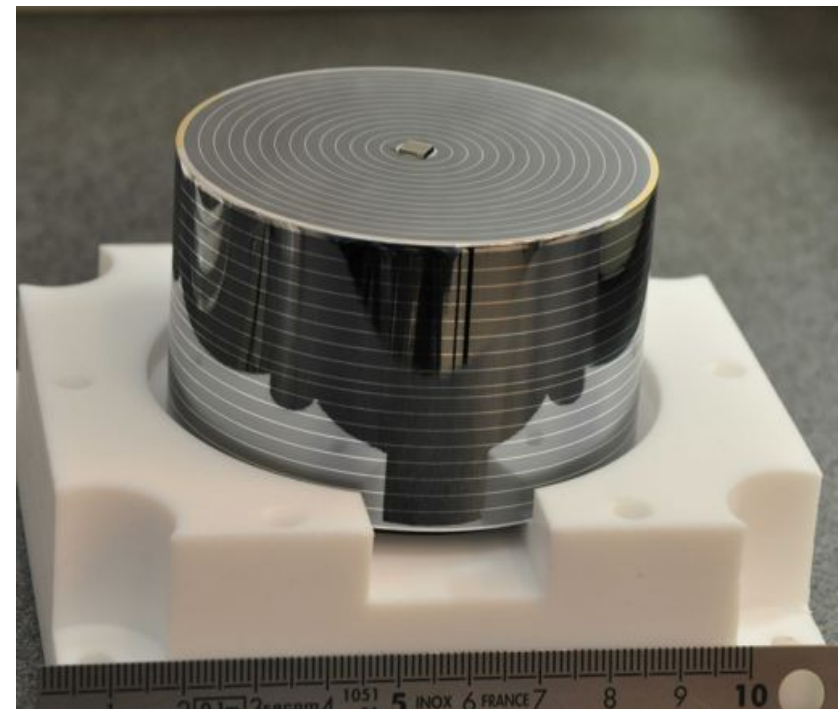
# Recherche directe de WIMPs: la compétition internationale...

- CDMS-I (cryo Ge and Si @ Stanford), CDMS-II @ Soudan Mine
- EDELWEISS-II (cryo Ge @ Fréjus)
- XENON-100 @ Gran Sasso
- CRESST-II (cryo  $\text{CaWO}_4$ ,  $\text{ZnWO}_4$ ) @ Gran Sasso
- WARP @ Gran Sasso, ArDM (liquid argon)
- DAMA/LIBRA (NaI, Xe) @ Gran Sasso
- IGEX @ Canfranc, HDMS/GENIUS-TF (Ge) @ Gran Sasso
- CUORICINO/ CUORE ( $\text{TeO}_2$ ) @ Gran Sasso
- SIMPLE, MACHe3, ORPHEUS (Bern)
- XMASS, ELEGANT, LiF @ Japan
- + Future experiments: SuperCDMS, EURECA, XENON-100, GERDA



# Cryodétecteurs et cryogénie

Compétences françaises: cryogénie TBT  
(même concepteur que cryostat Planck),  
détecteurs germanium...



Détecteur en germanium de 800  
grammes de l'expérience  
EDELWEISS.

## XENON1T : La construction commence

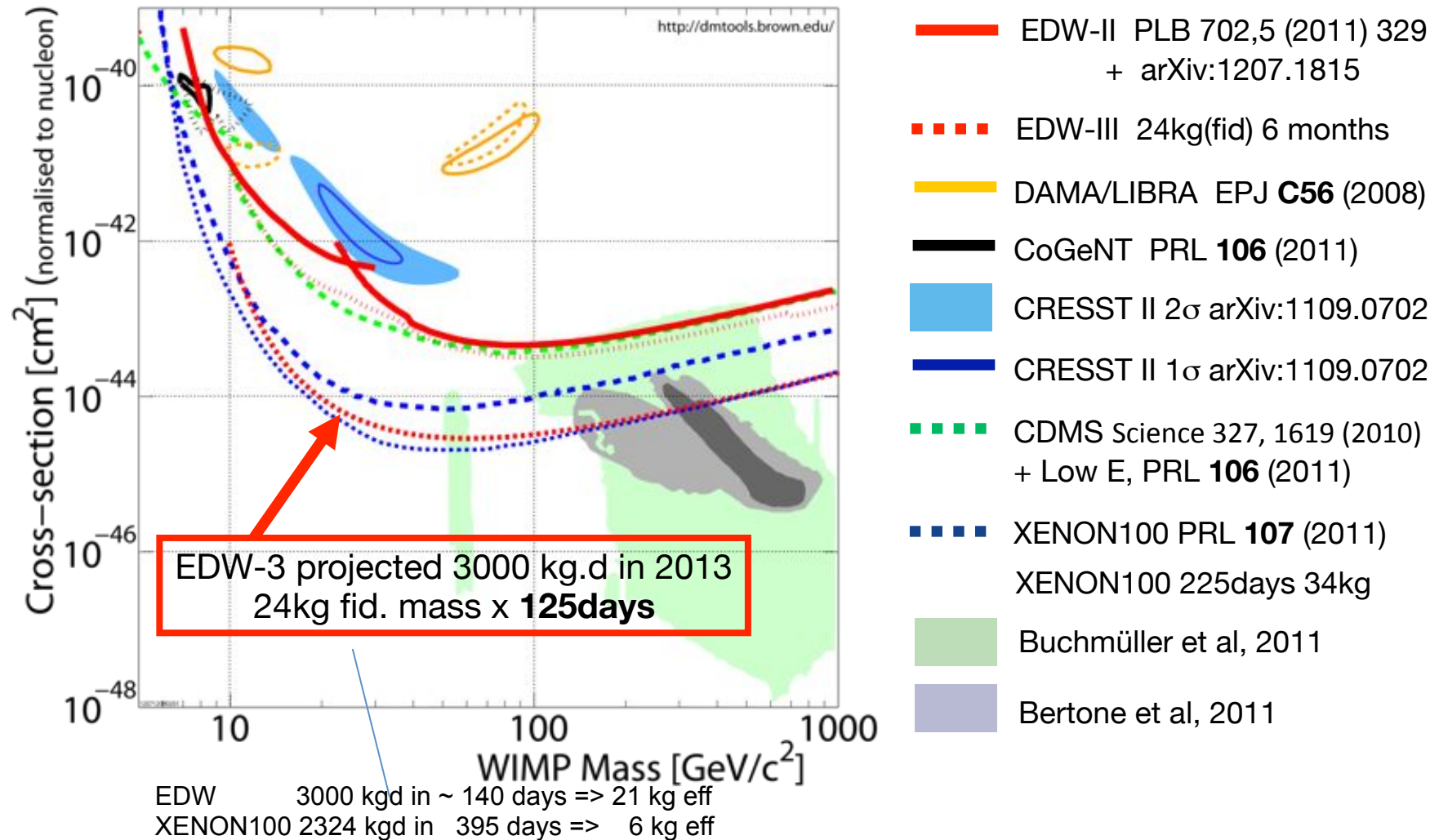
LNGS comité scientifique Avril 2011 :  
expérience approuvée



LNGS comité scientifique Octobre 2011 : place  
disponible dans le hallB

# Dark Matter Direct Detection: EDELWEISS-III (XENON)

<1 evt total background estimated for 3000kg.d eff. exposure



(Courtesy K. Eitel)

CS-IN2P3, CNRS, 27 juin 2013



# Rayons cosmiques: AMS

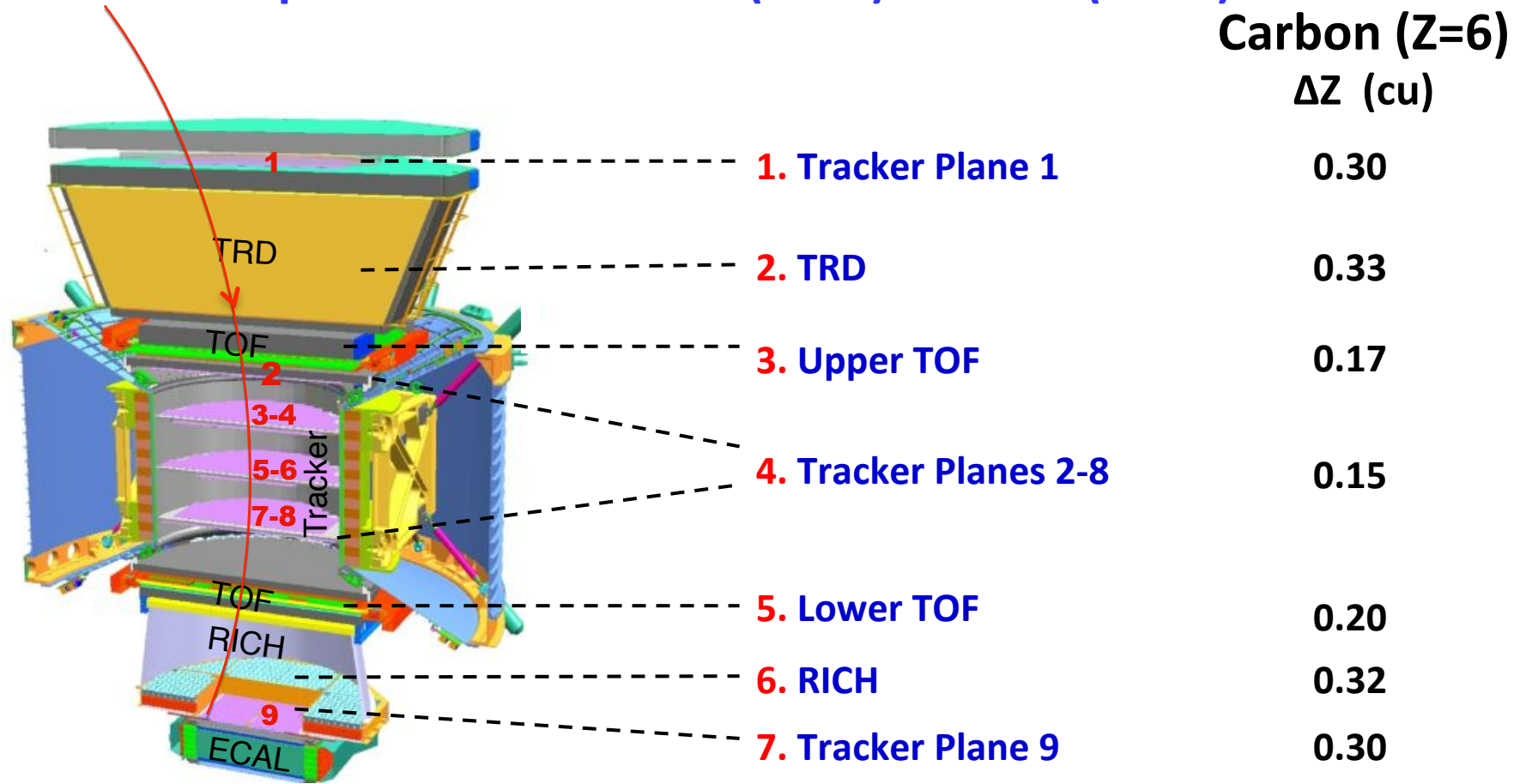


**May 19: AMS installation completed at 5:15 AM.**

CS-IN2P3, CNRS, 27 juin 2013  
**Data taking started at 9:35 AM**

# Multiple Independent Measurements of the Charge ( $|Z|$ )

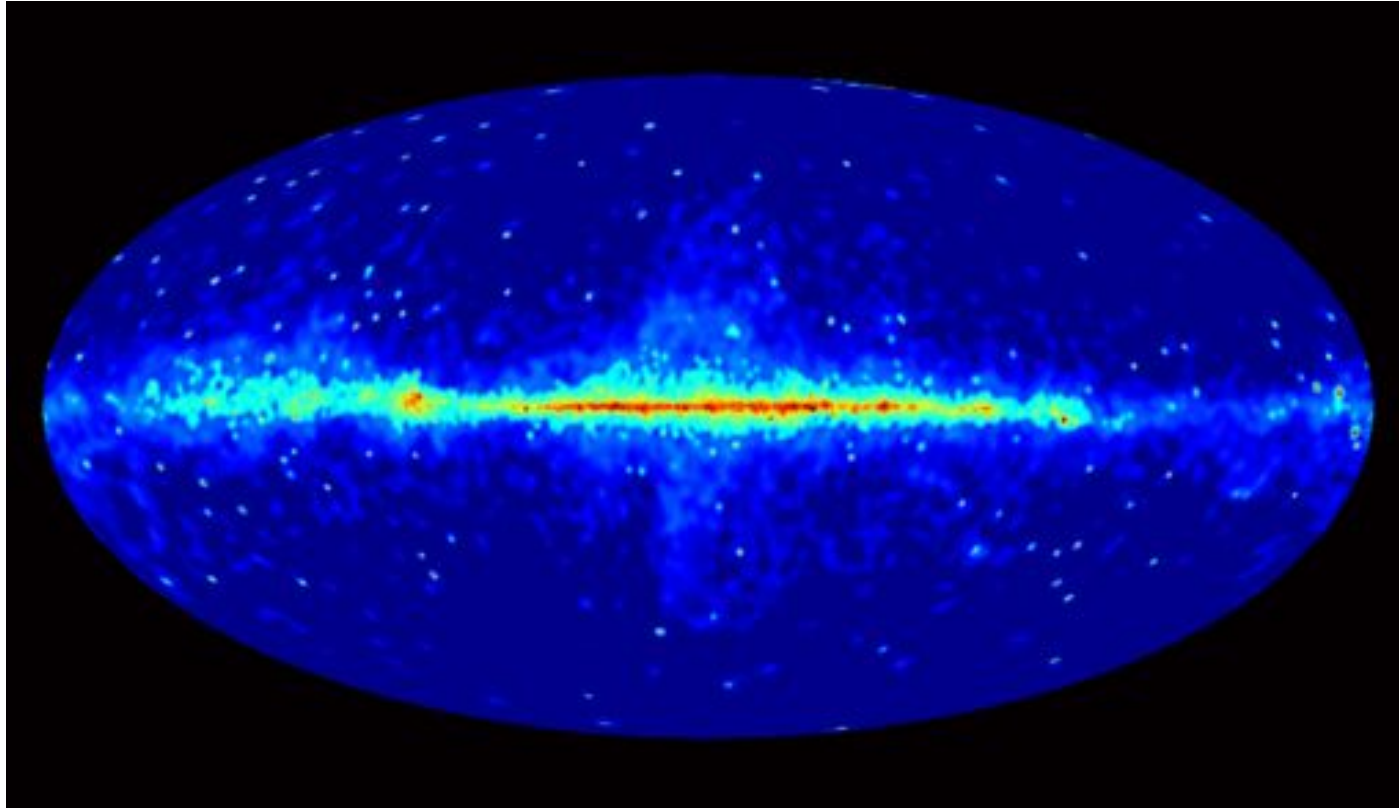
## Expertise IN2P3 : RICH (LPSC) et ECAL (LAPP)



# Rayons cosmiques: AUGER

- **Clarifier la situation expérimentale:**
  - existence et amplitude éventuelle de l'anisotropie
  - Composition (lourds, légers, transition...)
  - interprétation de la coupure vers  $10^{20}$  eV (GZK ou transition de composition ?)
  - Proposition d'upgrade présenté en septembre 2013, revue par un STAC, étude de la contribution française
  - Projet AUGER-Nord ou extension majeure du site repoussée à  $\geq 2020$
  - **Projet futur possible: JEM/EUSO, test EUSO-Ballon**

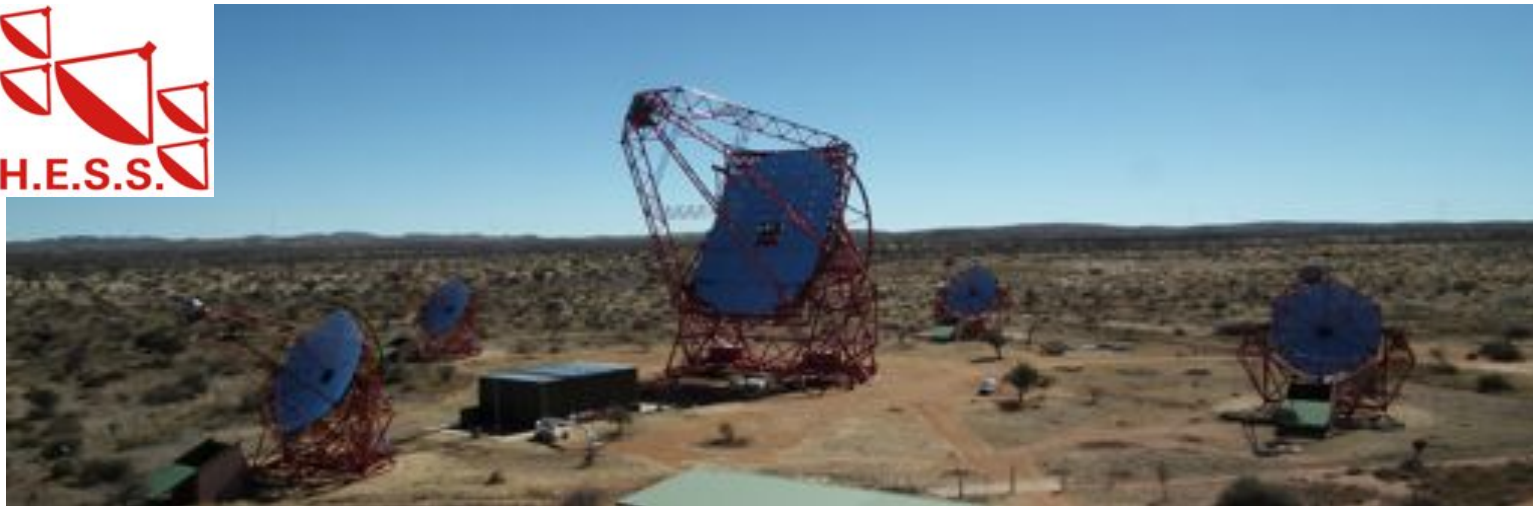
# Astronomie gamma: FERMI



Ciel en rayons gamma au-delà de 10 GeV, après 3 ans sur orbite. Cinq cents sources y apparaissent.

Liste Fermi de sources “dures”, produite par une équipe internationale pilotée par Pascal Fortin, postdoc au LLR et David Paneque (MPI-Munich)

# Astronomie gamma: HESS-2, CTA



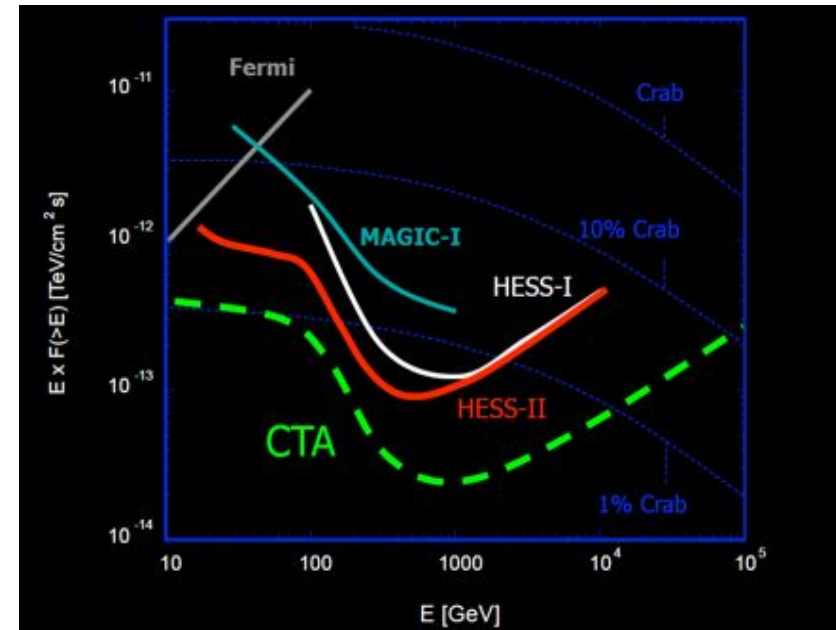
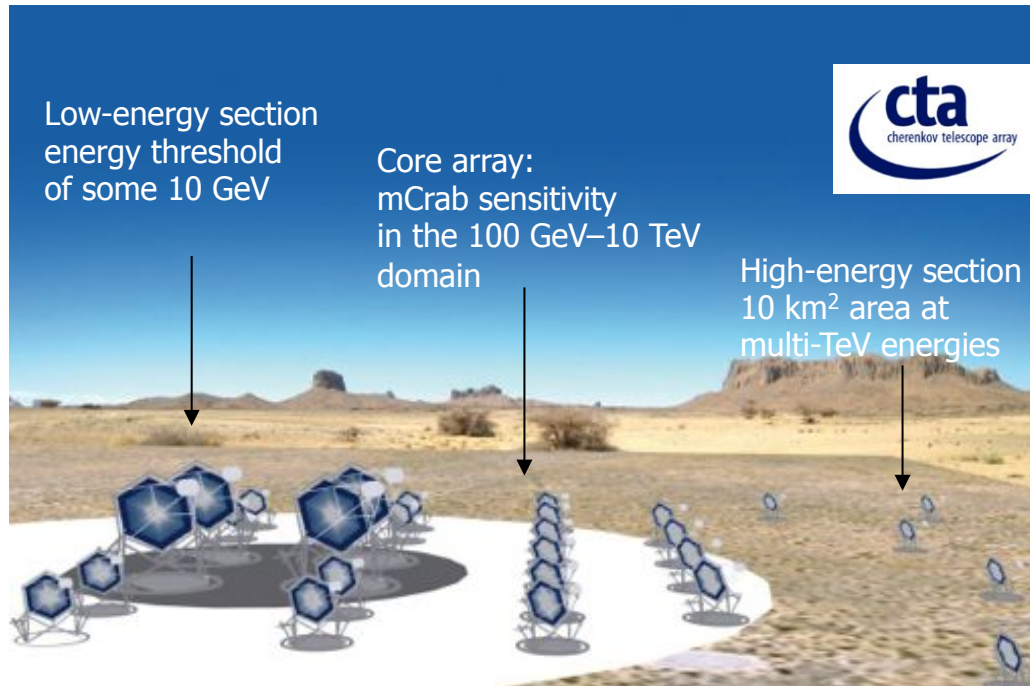
## H.E.S.S.: High Energy Stereoscopic System

Un ensemble de quatre télescopes de 12 m de diamètre (depuis  $\approx$  10 ans) et 1 télescope de 28m diamètre (inauguré en septembre 2012)

Site: Namibie (1800 m)

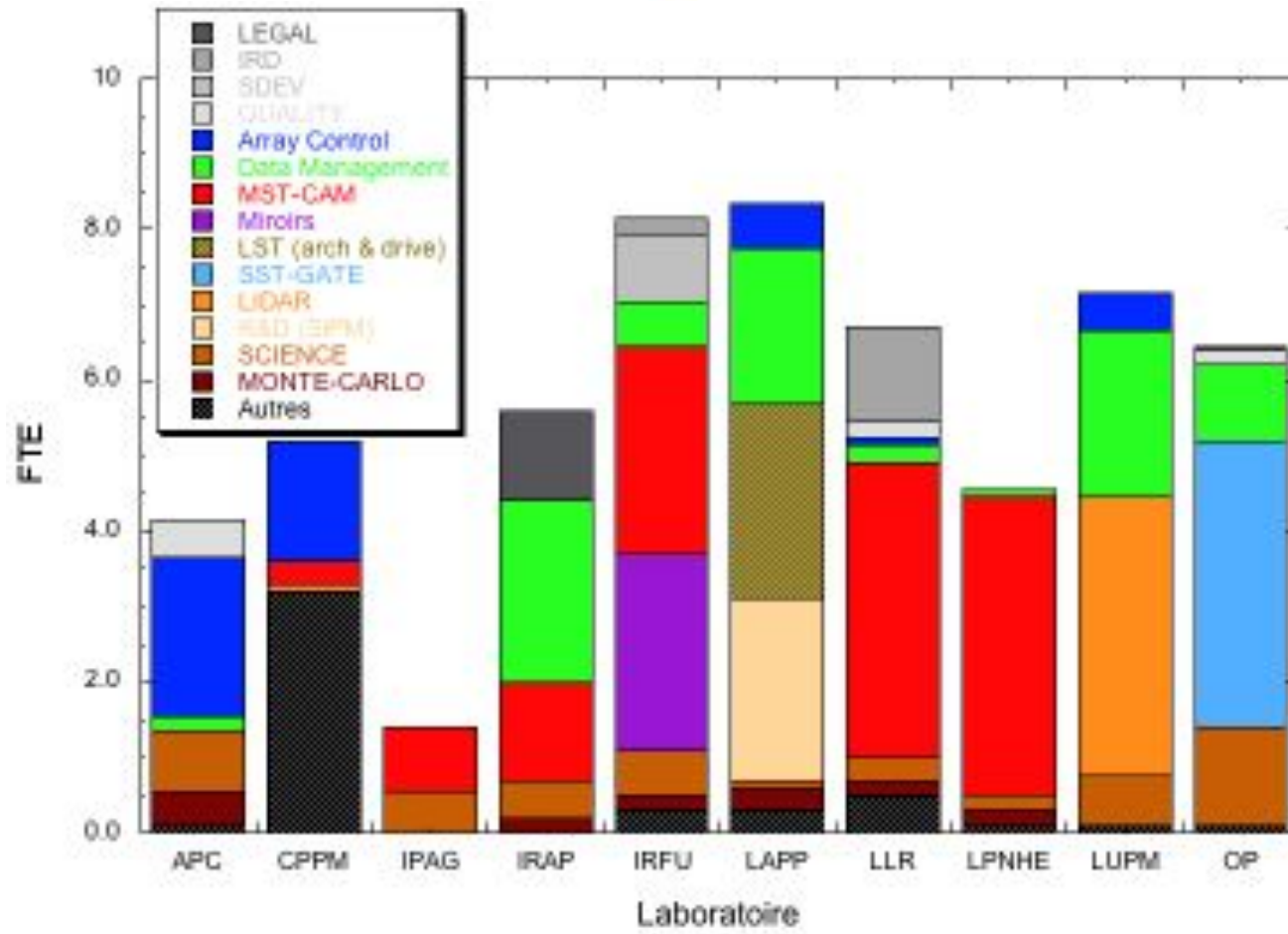


## Cherenkov Telescope Array – CTA



- **Higher sensitivity at TeV energies (x 10)**  
more sources, details in extended sources
- **Lower threshold (some 10 GeV)**  
pulsars, distant AGN, source mechanisms
- **Higher energy reach (100s of TeV)**  
cutoff region of Galactic accelerators

- **Wider field of view**  
extended sources, surveys
- **Improved angular resolution**  
structure of extended sources
- **Higher detection rates**  
transient phenomena



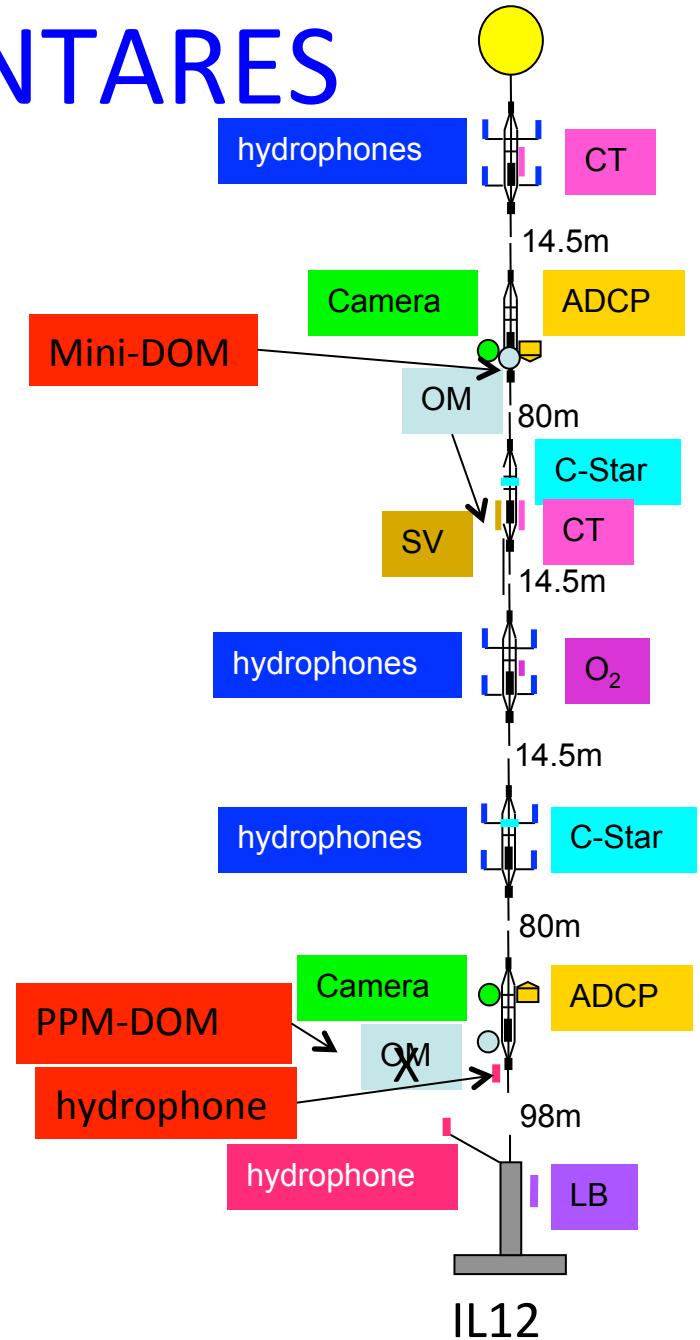
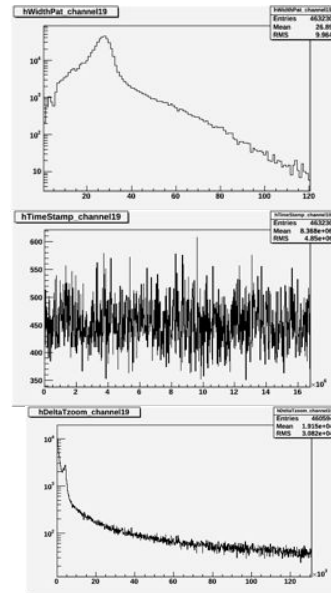
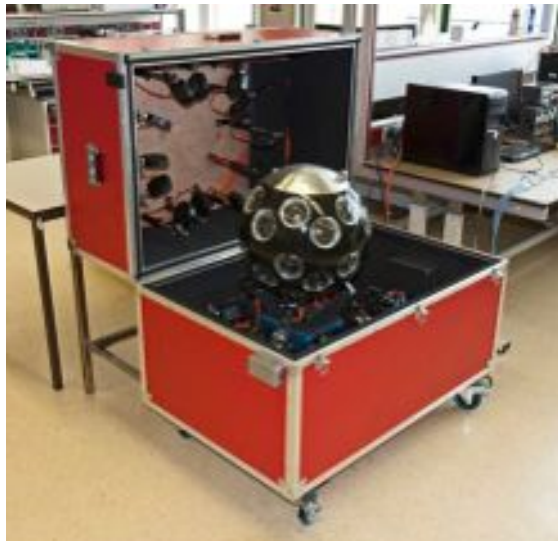
# Neutrinos

- Vers l'astronomie des neutrinos:  
ANTARES et KM3
- Propriétés fondamentales de neutrinos:
  - Double Chooz
  - T2K
  - OPERA
  - Double beta: SuperNEMO, R&D
  - Au delà: objet de ce Conseil Scientifique



# KM3NeT DOM on ANTARES

ANTARES DOM undertest at Nikhef  
Integration on Instrum line at CPPM-summer 2012



Connection with COMEX RoV-october 2012

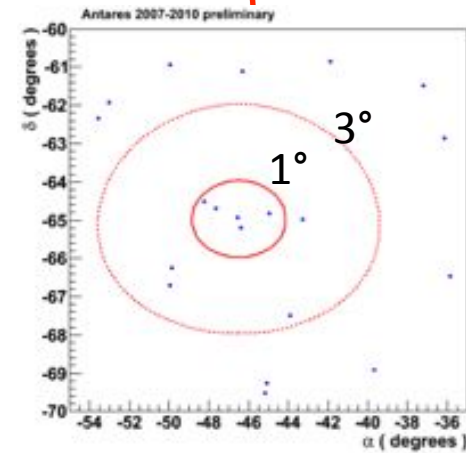
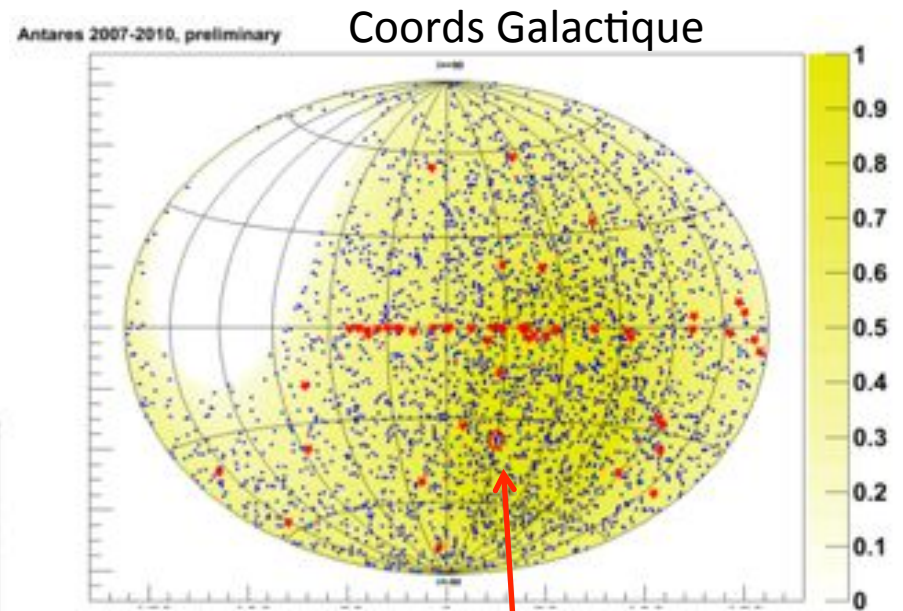
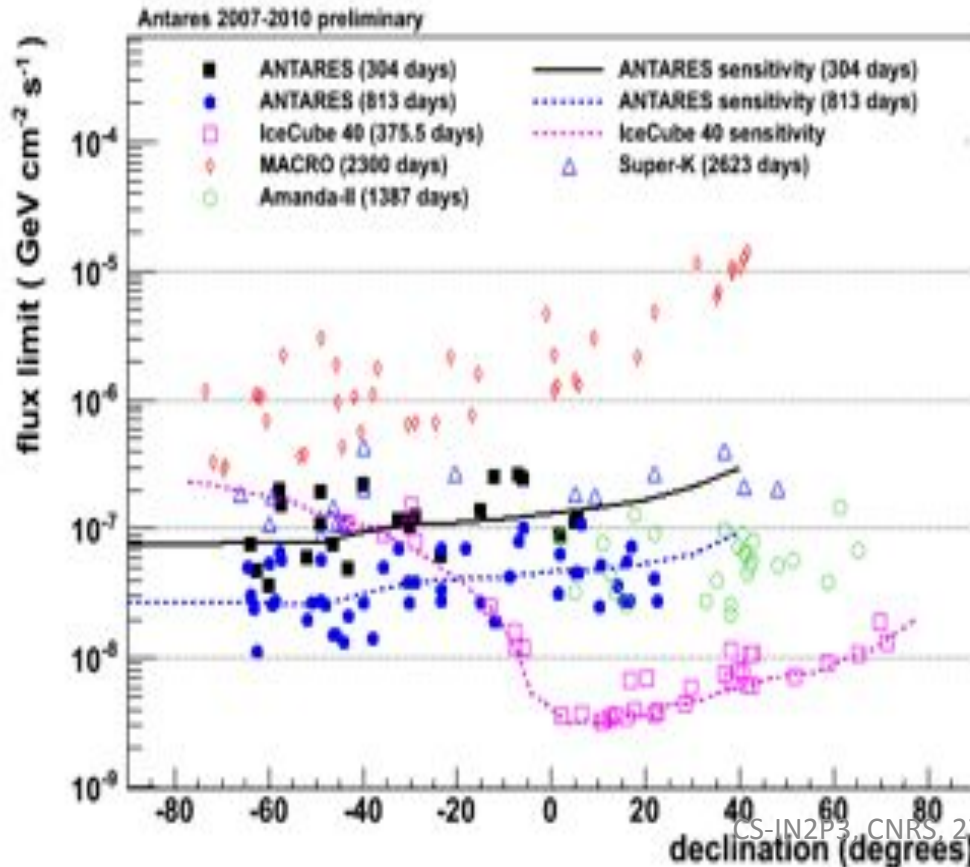


CS-IN2P3, CNRS, 27 juin 2013

# Astronomie Neutrinos: ANTARES, KM3

Données 2007-2010  
 3058 candidats  
 86% neutrinos atmosphériques

Estimations des énergies avec  $N_{hit}$

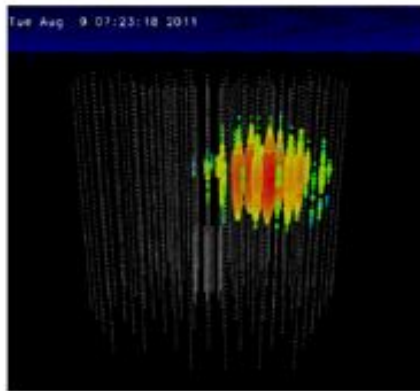


Point chaud:  $\alpha = -46.5$ ,  $\delta = -65.00$   
 Significance  $2.2 \sigma$

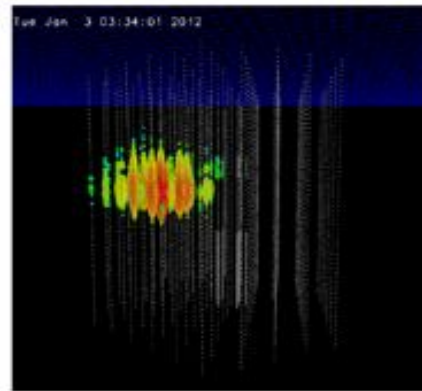
# High energy Universe II, ICECUBE First cosmic neutrinos ?

## Results

Appearance of  $\sim 1$  PeV electron neutrinos as an at-threshold background

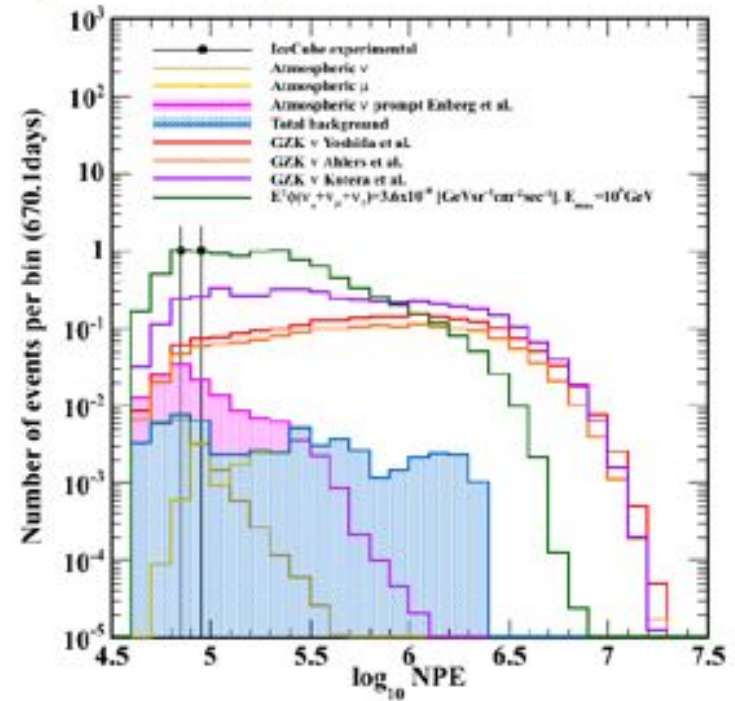


"Bert"  
 $\sim 1100$  TeV



"Ernie"  
 $\sim 1300$  TeV  
**PRELIMINARY**

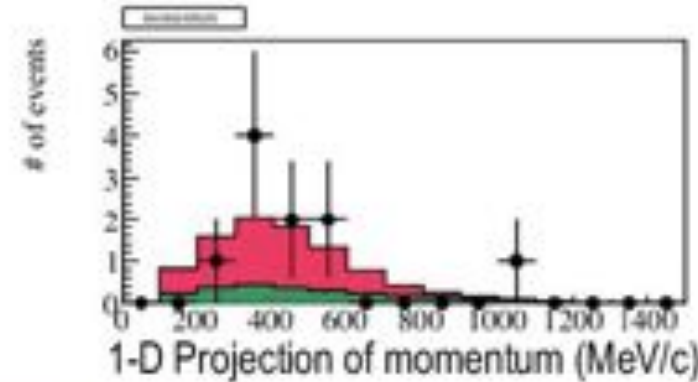
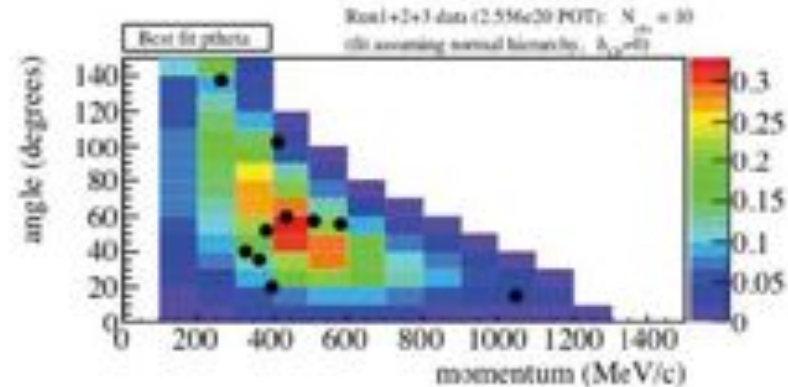
## Comparison to Expectations



More statistics in the data, announcements in preparation?

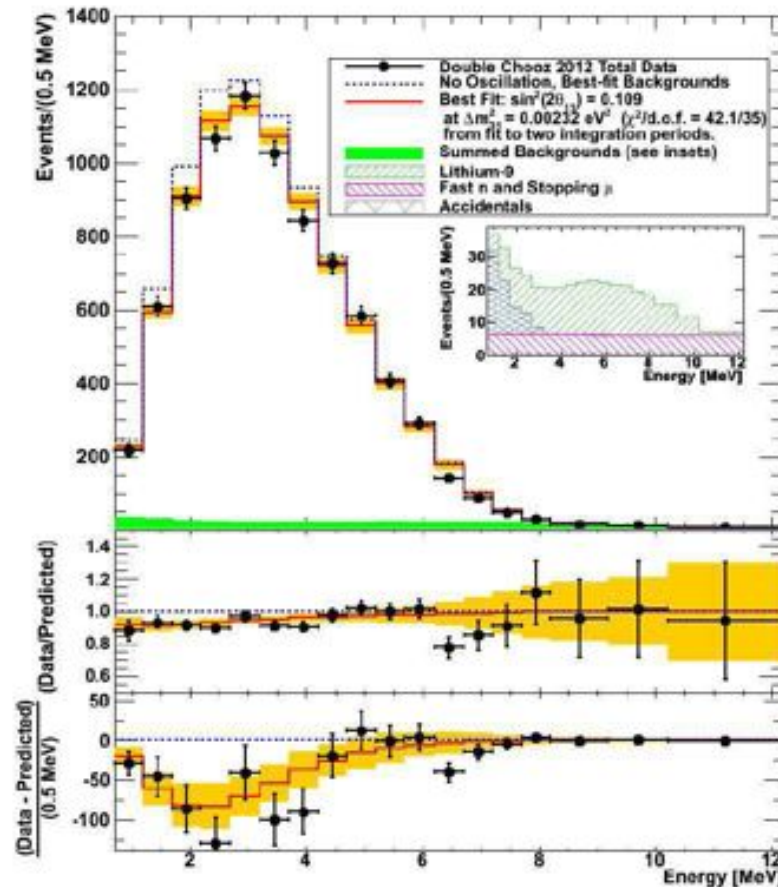
# Neutrinos: T2K

- apparition d'électrons dans un faisceau initial de neutrinos  $\mu$
- signification statistique  $\approx 3.2$  sigmas (la même que Double Chooz...)
- Nouveau résultat à l'EPS
- Programme jusqu'en 2020 (hiérarchie, indications viol. CP), leader mondial actuel sur  $\theta_{23}$



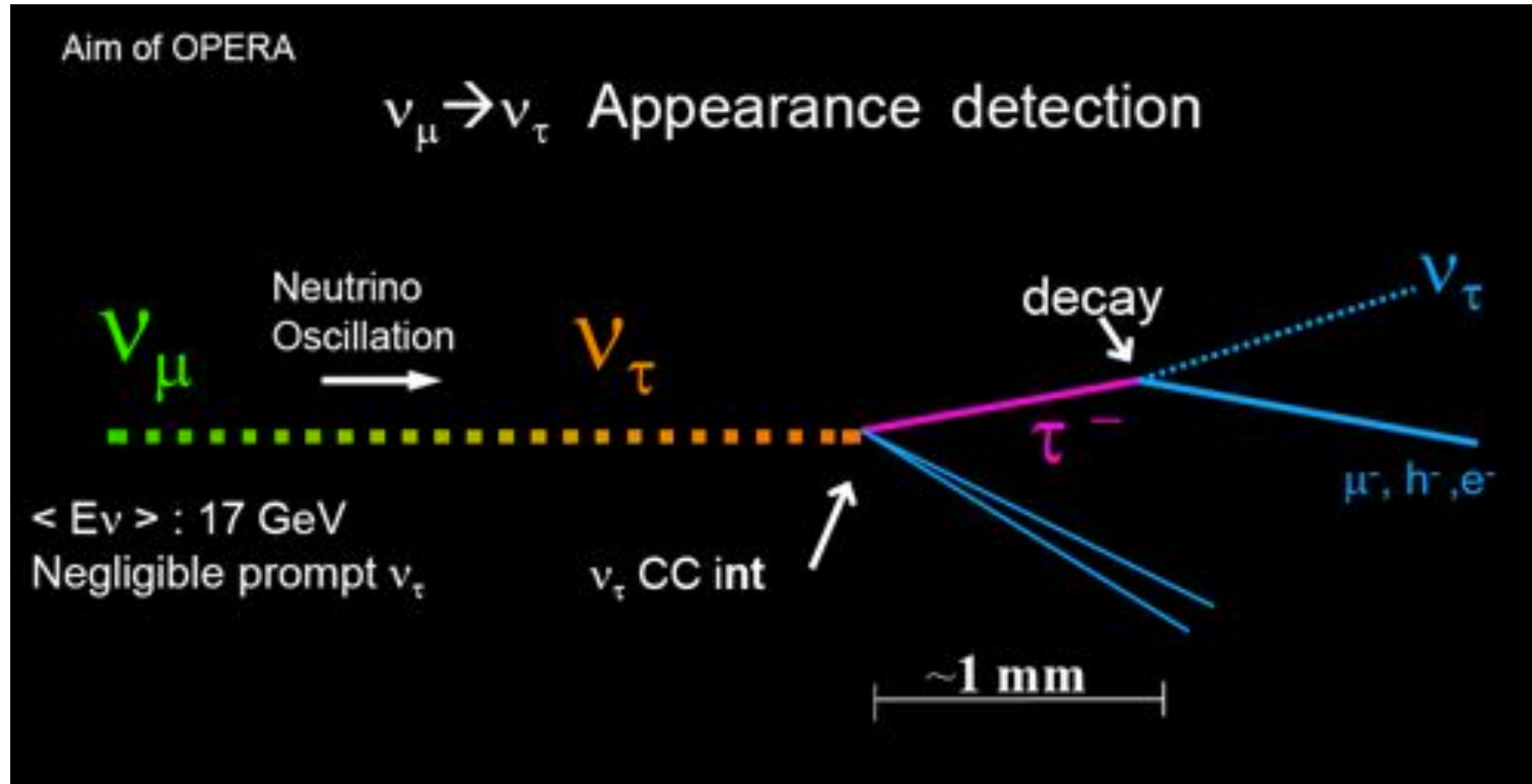
$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.104^{+0.060}_{-0.045}$$

# Neutrinos: Double Chooz

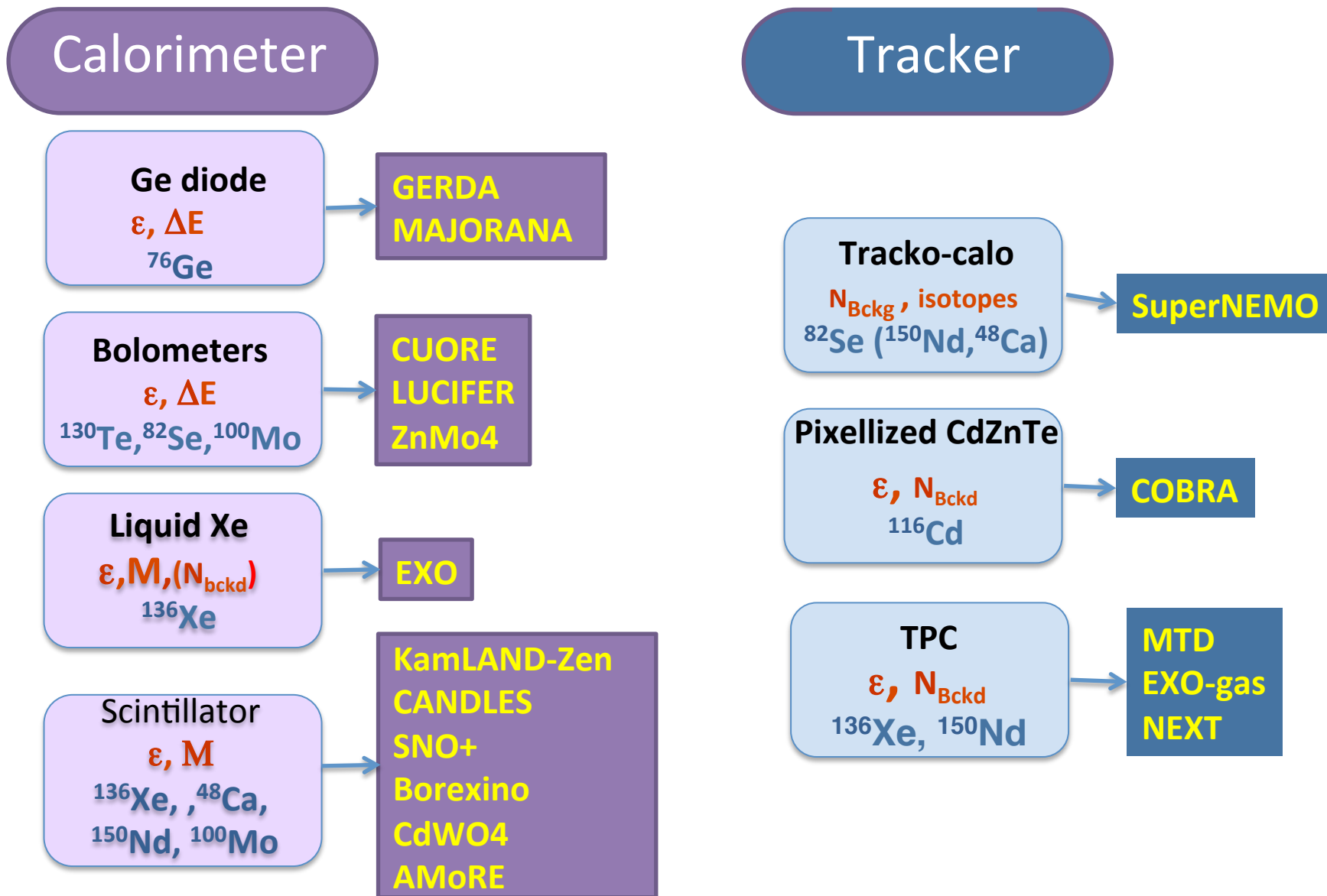


- Publication oscillation signification 3.2 sigmas
- Excellent contrôle des erreurs systématiques
- Parvenir à une signification statistique de  $> 6$  sigmas avec l'aide du détecteur proche (fin 2014)

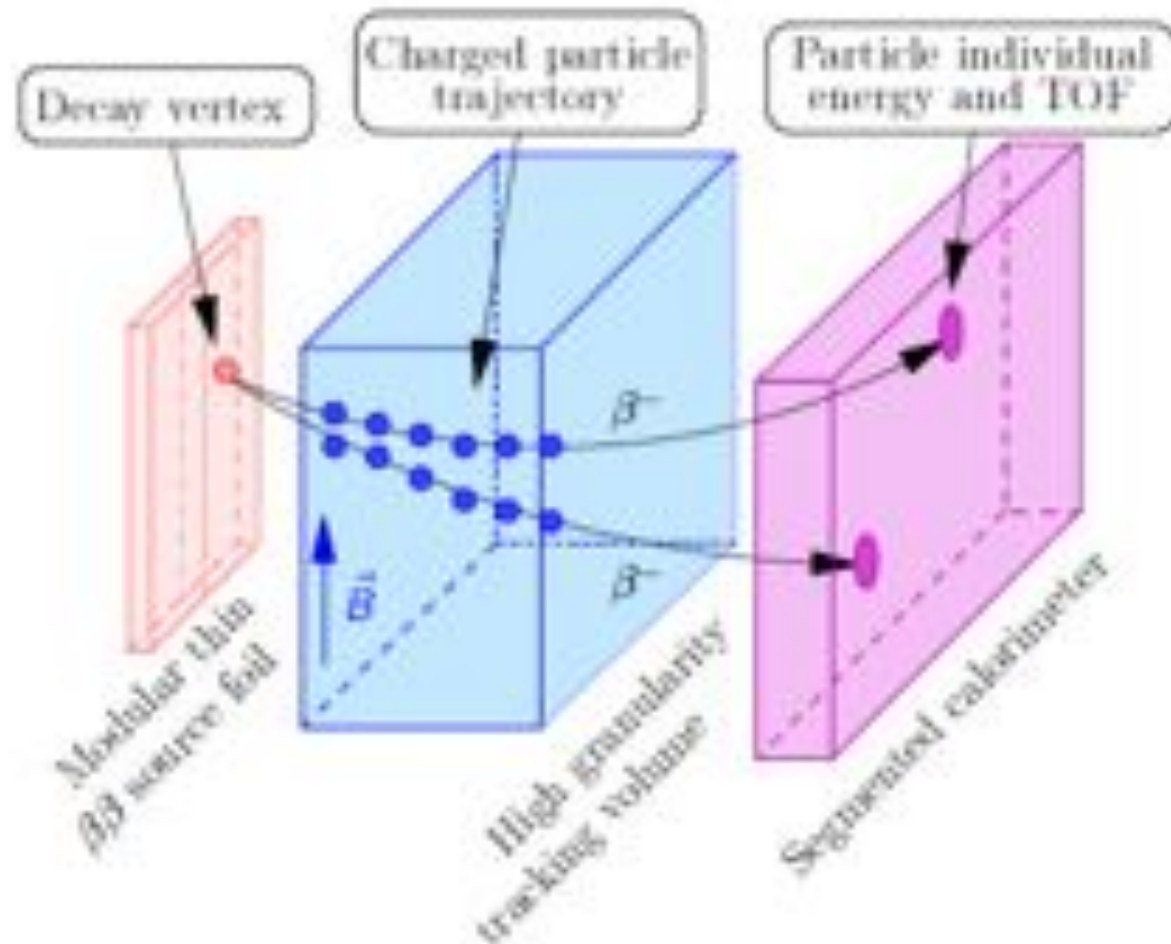
# Neutrinos: OPERA



# Double beta decay experimental techniques



# Neutrinos: SuperNEMO

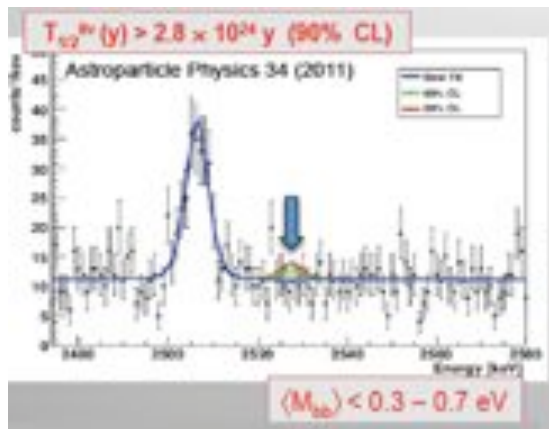


Particle physics approach: **Topological reconstruction of final states**



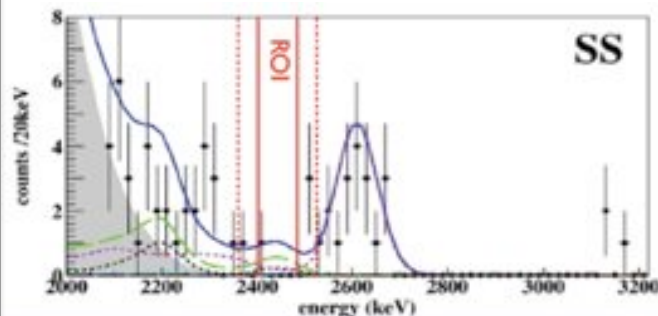
# Latest results

## Cuoricino



Bolometer

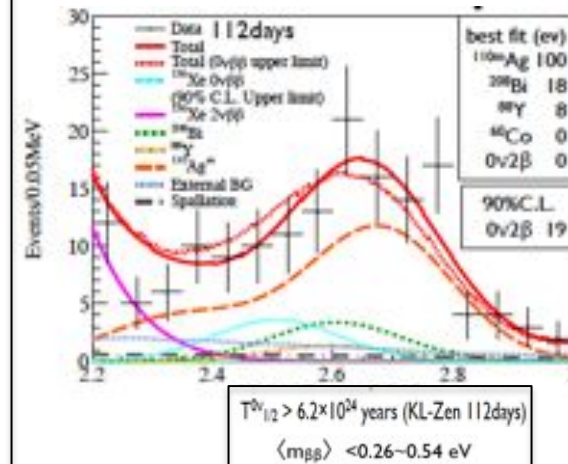
## EXO-200



$T_{1/2}^{0\nu\beta\beta} > 1.6 \cdot 10^{25} \text{ yr}$   
 $\langle m_{\beta\beta} \rangle < 140-380 \text{ meV}$

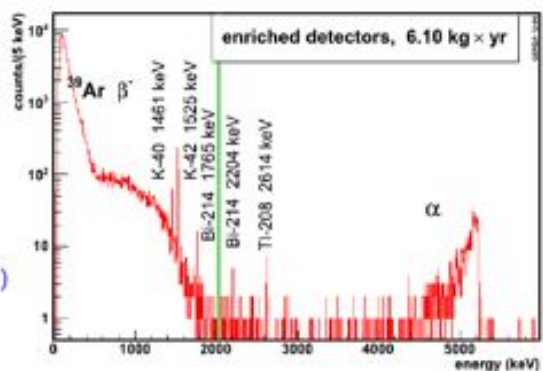
Liquid Xenon

## KamLAND-ZEN



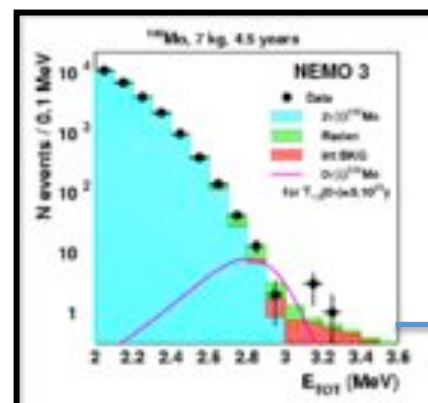
Xe in liquid scintillator

## GERDA I



Ge diodes

## NEMO 3



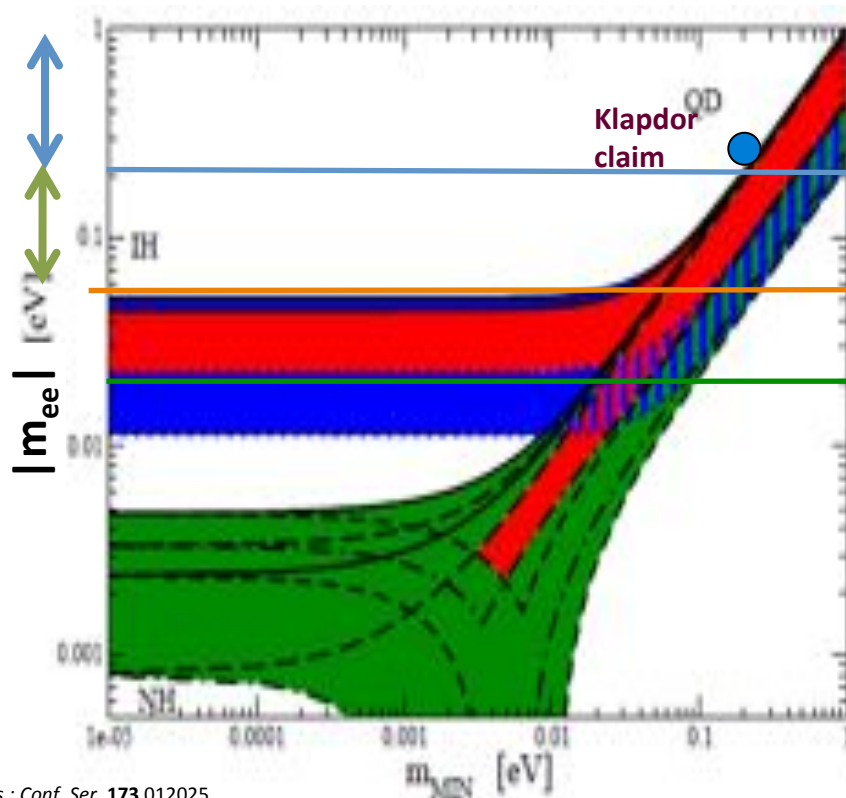
No background  
Beyond 3.2 MeV

$T_{1/2}^{0\nu\beta\beta} (\beta\beta 0\nu) > 1.0 \cdot 10^{24} \text{ y (90\% C.L.)}$   
 $\langle m_{\nu} \rangle < 0.31-0.79 \text{ eV}$

# Goal of the next generation of DBD experiments

Cuoricino  
HM  
GERDA I  
KamLAND-Zen  
EXO-200  
NEMO3

EXO  
KamLAND  
CUORE  
GERDA  
SNO+  
SuperNEMO



Required background level  
in the ROI

**~ 10 kg**  
(200 – 400kg <sup>136</sup>Xe)  
**100 – 1000 cts/yr/ton**

**~ 100 kg**  
**1 – 10 cts/yr/ton**

**~ 1000 kg**  
**0.1 – 1 cts/yr/ton**

S T Petcov 2009 *J. Phys.: Conf. Ser.* **173** 012025

**Next generation will use  $\geq 100$  kg (started with Xe experiments)**  
**Background improvements/breakthroughs**

# Présent Conseil Scientifique

- Etudier le projet de la communauté dans le domaine des neutrinos au delà des programmes existants
- Quelle participation éventuelle, notamment, dans un programme long baseline ?
- Document update stratégie neutrino issu du GDR Neutrino