



« L'astroparticule ... et les
neutrinos au SPP, au PCC et à
l'APC »

1. Qu'est-ce que l'astroparticule ?
2. Naissance et développement à Saclay et au Collège
3. Vers l'APC
4. Quelques résultats marquants

Naissance de l'astroparticule (1)



➤ Chacun a sa définition... et on peut y passer la journée...

① Je l'associe pour ma part à l'année 1979 et la naissance de ce qu'on a appelé la physique "hors accélérateurs" avec deux thèmes principaux :

- Théories de grande unification et expériences de recherche de désintégration du nucléon
- Oscillation des neutrinos et premières expériences auprès des réacteurs.

② Au milieu des années 80, s'y ajoutent des problématiques plus liées à l'astrophysique ... et à la cosmologie :

- Problème des neutrinos solaires
- Quid de la matière noire ?

③ Puis, vers 1990, un retour aux rayons cosmiques et un développement de l'astronomie gamma à haute énergie au sol par des physiciens des particules

Naissance de l'astroparticule (2)



➤ **Autres caractéristiques (y compris sociologiques) :**

☯ **Physique hors accélérateurs**

☯ **Petites collaborations (... voir aujourd'hui Auger, HESS, ANTARES...)**

☯ **Problématiques communes avec astrophysiciens (neutrinos solaires, matière noire, rayons cosmiques)**

☯ **Techniques de physique des particules (détecteurs, traitement des données)**

☯ **Interdisciplinaire (physique nucléaire, physique du solide, chimie, physique de l'atmosphère,...)**

☯ **Événements rares et construction de laboratoires souterrains pour réduire le bruit de fond**

Quelques papiers "symboliques"

I. Phys. Rep. 151 (1987) 239

EXPERIMENTAL PARTICLE PHYSICS WITHOUT ACCELERATORS

J. RICH, D. LLOYD OWEN* and M. SPIRO

DPhPE, CEN Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette, France

Received February 1987

Contents:

1. Introduction	241	7.3. Experimental techniques	301
2. Neutrinos	244	7.4. Particle physics in cosmic-ray experiments	304
2.1. Introduction	244	7.5. Cygnus X-3	306
2.2. Direct neutrino-mass measurements	245	8. Magnetic monopoles	321
2.3. Neutrino oscillations	249	8.1. Phenomenology of GUT monopoles	321
2.4. Double-beta decay	265	8.2. Heavy-monopole detectors	322
3. Neutrons	269	9. Fractionally charged particles	325
3.1. Introduction	269	9.1. Introduction	325
3.2. T violation and the neutron electric dipole moment	270	9.2. Cosmic-ray searches	326
3.3. Neutron oscillations	273	9.3. Searches for fractional charges residing on bulk matter	326
4. Proton decay	275	9.4. FCP extraction experiments	327
4.1. Introduction	275	9.5. Future prospects	328
4.2. Proton decay in Grand Unified Theories	276	10. Heavy particles bound in nuclei	328
4.3. Proton-decay experiments	278	10.1. Introduction	328
4.4. The future of proton-decay experiments	282	10.2. Experimental searches	329
5. Atomic parity-violation experiments	283	11. Medium-range forces	332
5.1. Introduction	283	11.1. Introduction	332
5.2. Phenomenology	283	11.2. Limits on α and Λ	334
5.3. Optical-rotation experiments	289	11.3. The composition dependence of MRF's	337
5.4. Stark experiments in forbidden transitions	292	11.4. Recent developments	340
5.5. Atomic-hydrogen experiments	294	12. Galactic dark matter	340
5.6. The future	294	12.1. Introduction	341
6. Time variation of the fundamental constants	294	12.2. The cosmography of dark matter	341
6.1. Introduction	294	12.3. Axions	342
6.2. Current variations	295	12.4. Light neutrinos	344
6.3. Past variations	297	12.5. Heavy weakly interacting particles	345
6.4. Future variations	299	12.6. Quark nuggets	350
7. Cosmic-ray physics	299	References	351
7.1. Introduction	299	Notes added in proof	362
7.2. The primary cosmic-ray spectrum	299		

Neutrinos

Neutrons

Proton Decay

Atomic P violation

Cosmic Rays

Magnetic monopoles

Fractionally charged particles

Galactic Dark Matter

II. The Dialog Between Particle Physics And Cosmology, Bernard Sadoulet.
LBL-25212 (Apr 1988). Lectures given at SLAC Summer Inst., Stanford, CA.

Les thématiques de l'astroparticule

- **Astronomie neutrino (neutrinos solaires, neutrinos atmosphériques, neutrinos de supernovas, neutrinos des AGN)**
 - **Matière noire (directe, indirecte)**
 - **Astronomie gamma à haute énergie**
 - **Rayons cosmiques à très haute énergie**
 - **Ondes gravitationnelles**
 - **Fond diffus cosmologique et big bang**
 - **Durée de vie du nucléon**
 - ...
- Liens avec la physique des particules : oscillations des neutrinos, particules supersymétriques comme candidats à la matière noire, ...**

Une vue de l'astroparticule en 2000

COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

CRSMF2

SÉRIE IV • TOME 1

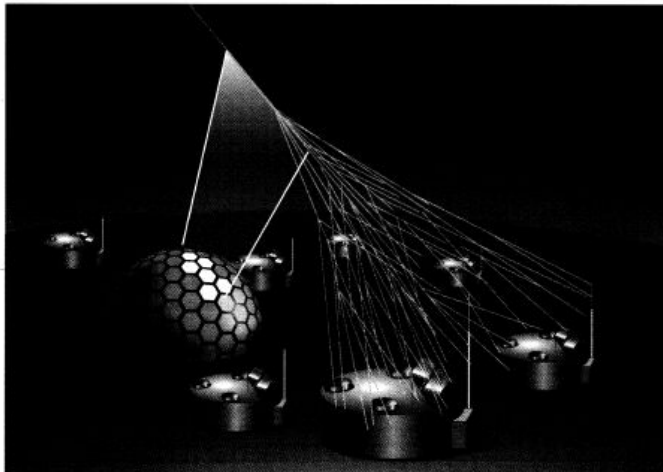


N° 2 • MARS 2000

ISSN 1296-2147

PHYSIQUE • ASTROPHYSIQUE

PHYSICS • ASTROPHYSICS

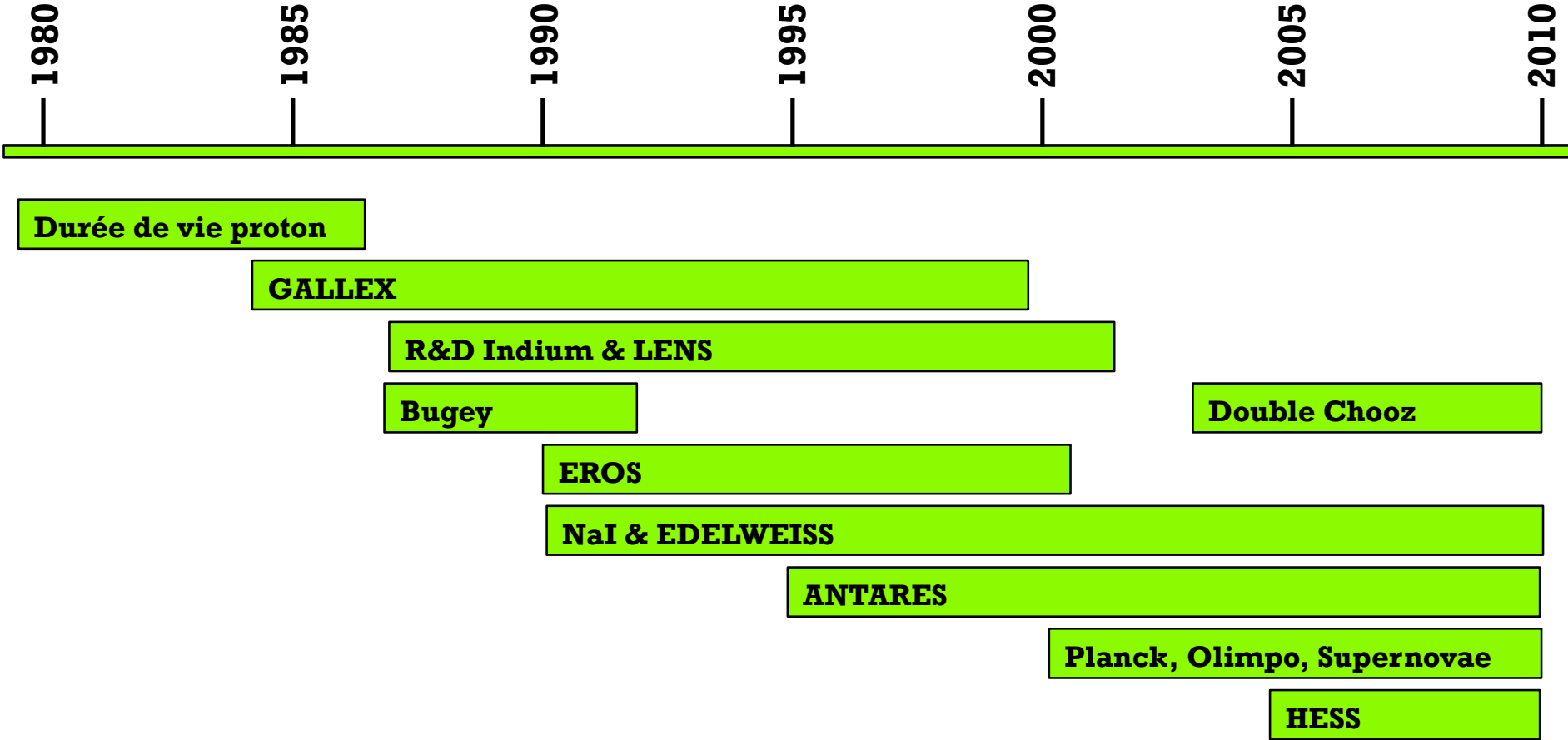


PHYSIQUE DES ASTROPARTICULES
ASTROPARTICLE PHYSICS

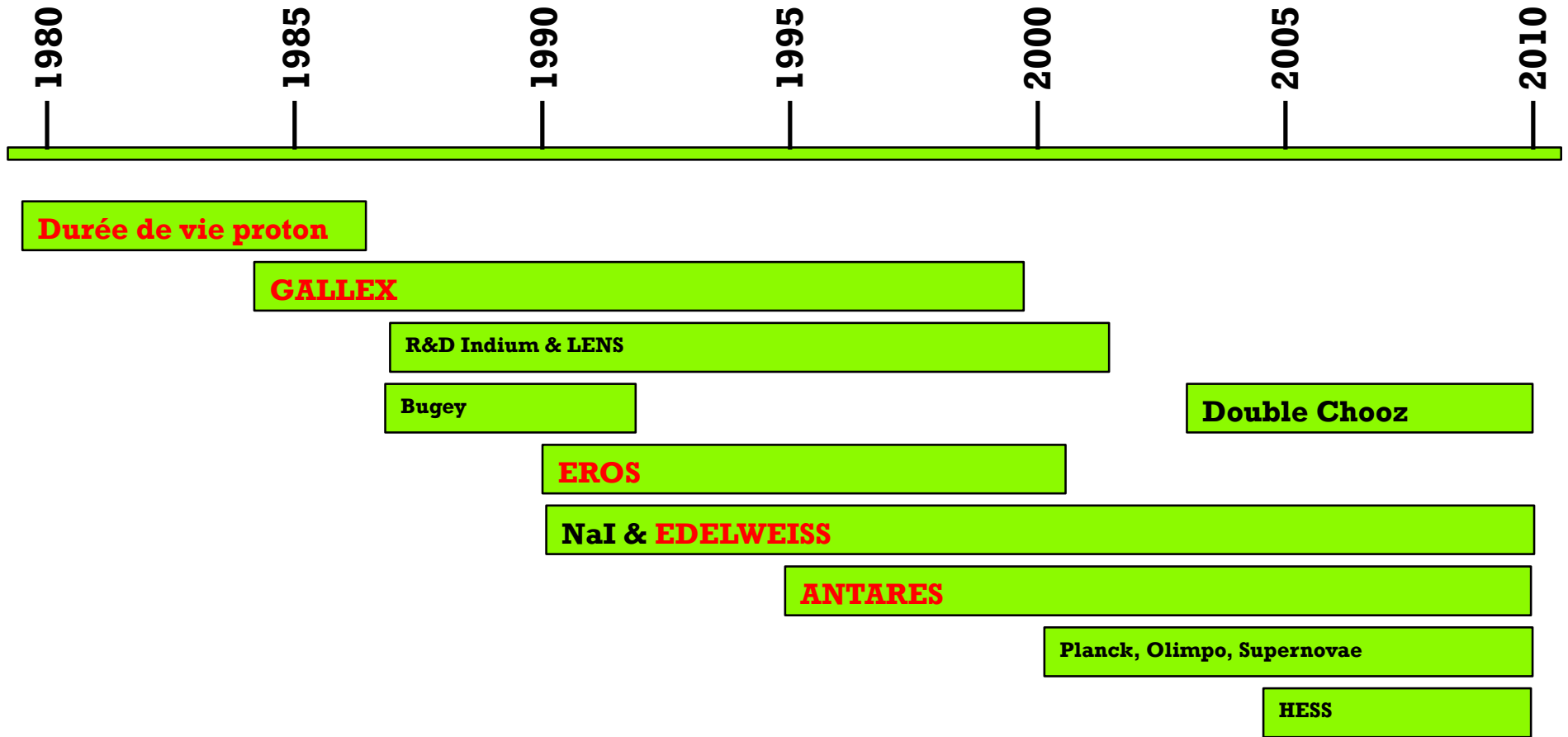
Rédacteur en chef invité / *Guest Editor* : Daniel Vignaud

- **The neutrinos, massive or massless particles?**
Jacques BOUCHEZ 159
- **Solar neutrinos**
Michel CRIBIER, Wolfgang HAMPEL 169
- **Extreme astrophysical sources**
Jacques PAUL, Giovanni F. BIGNAMI 179
- **Gamma-ray astronomy at high and very high energies**
Bernard DEGRANGE, Michael PUNCH 189
- **Very high energy neutrinos**
Luciano MOSCOSO, Christian SPIERING... 199
- **Cosmic rays above 10^{14} eV**
Murat BORATAV, Alan A. WATSON 207
- **Dark matters**
Nathalie PALANQUE-DELABROUILLE,
Éric AUBOURG, Michel SPIRO 217
- **Cosmological parameters for an homogeneous Universe**
James RICH, Alain BLANCHARD 227
- **Toward the detection of gravitational waves**
Michel DAVIER, Francesco FIDECARO 237

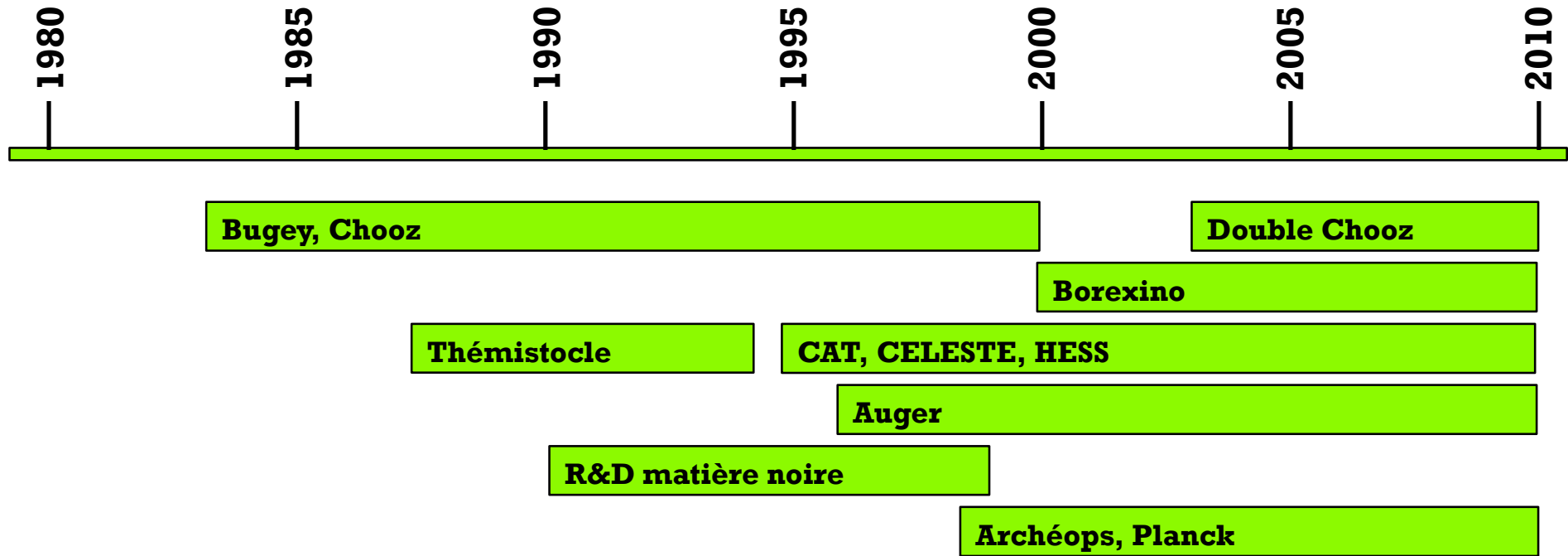
SPP



SPP

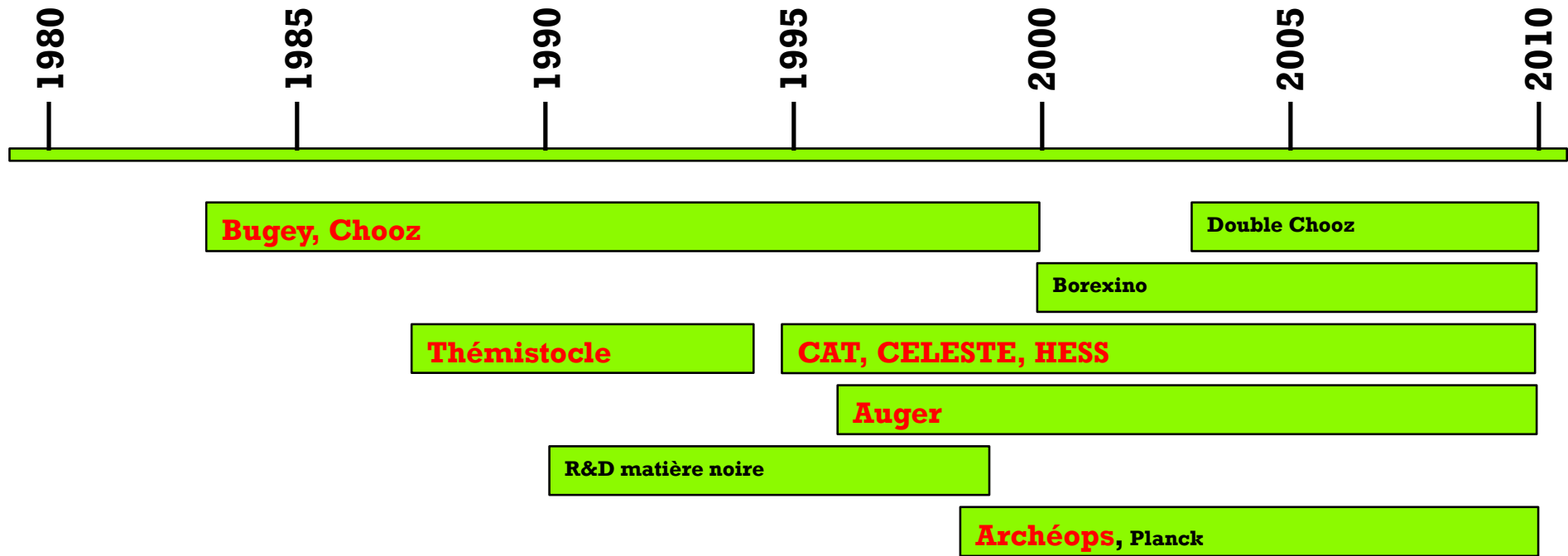


LPC Collège

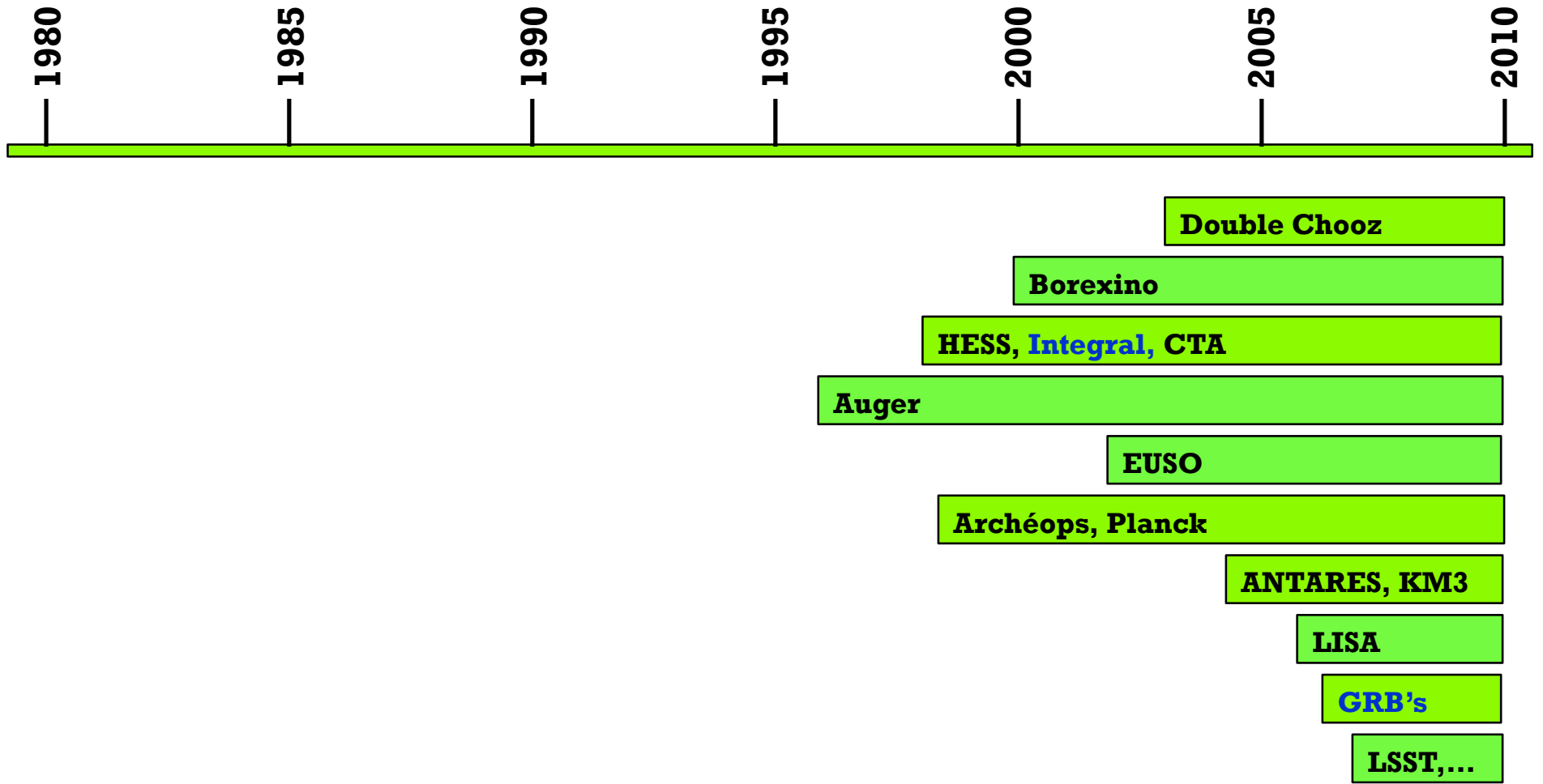


Virage
vers
l'astro
partic
ule

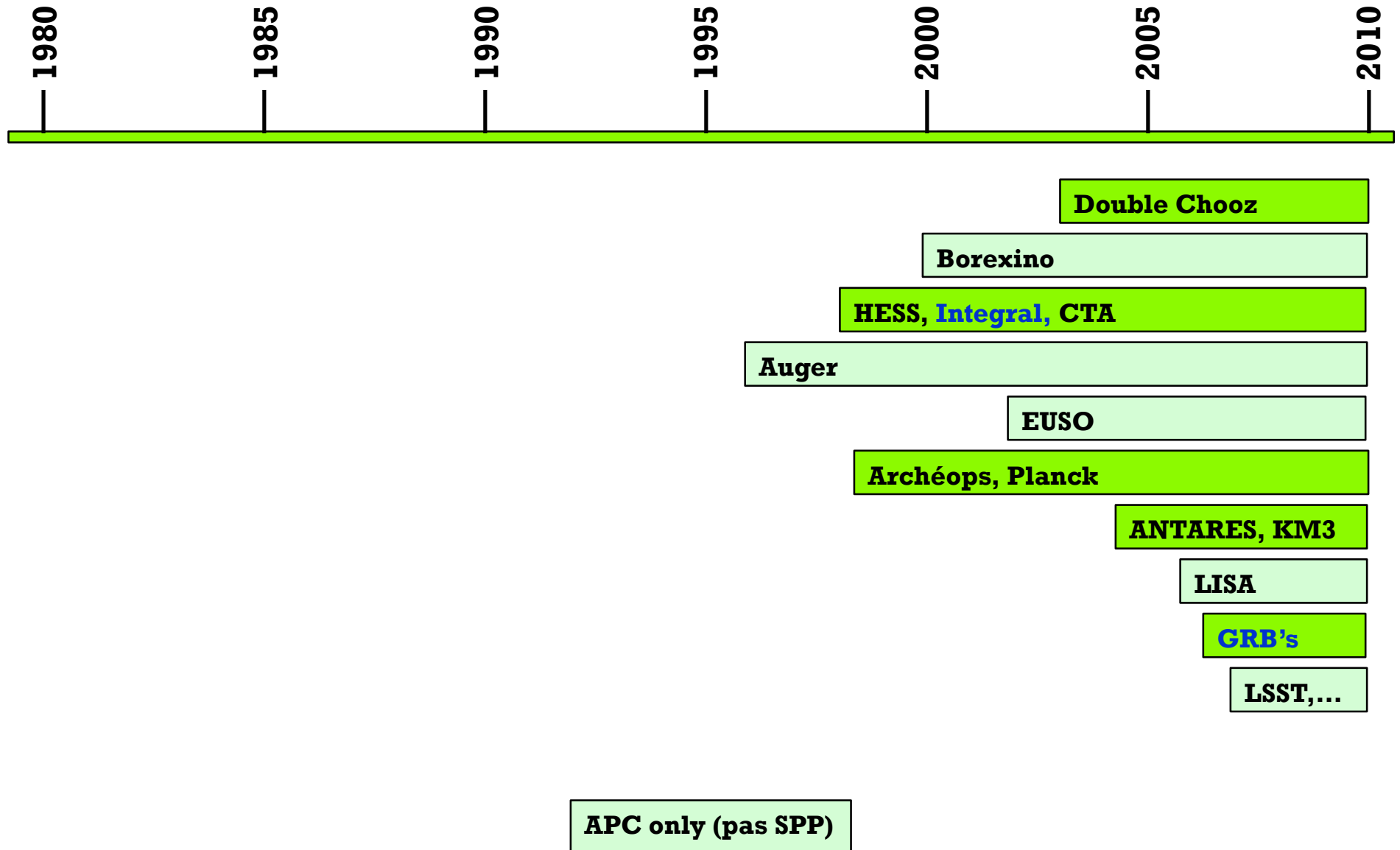
LPC Collège



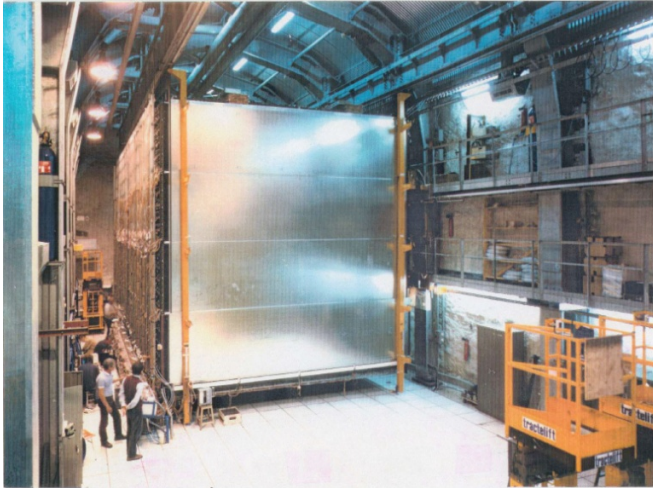
APC



APC



Durée de vie proton



Tunnel du Fréjus (Laboratoire Souterrain de Modane).

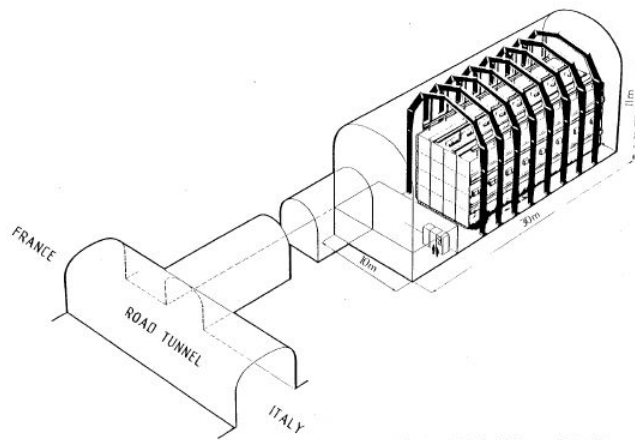


Fig. 1 The Fréjus Underground Laboratory

900 tonnes de Fe + tubes Geiger + tubes plasma.
SPP Saclay / LAL / LPNHE-X / Aachen / Wuppertal
R. Barloutaud, P. Bareyre, L. Mosca, L. Moscoso, B. Tallini,...

Prise de données : 1983-1988

Résultat : aucune indication de désintégration de proton, donc le temps de vie est plus long que prévu et la théorie SU₅ a été éliminée.

Ch. Berger et al., Z.Phys.C50 (1991) 385.

Channel	$\sum_i \varepsilon_i \cdot b_i$	N_B	N_C	Sens.(kt · y)	$\frac{\tau_N(N_B=0)}{BR(10^{31}y)}$	$\frac{\tau_N}{BR(10^{31}y)}$	$\frac{\tau_N}{BR(10^{31}y)}$ · Range
$p \rightarrow e^+ \pi^0$	0.36	0.5	0	1.58	7.0	7.0	4.4- 8.1
$p \rightarrow e^+ \eta^0$	0.23	0.1	0	1.56	4.4	4.4	3.9- 5.7
$p \rightarrow e^+ K_S^0$	0.40	0.5	0	1.56	7.6	7.6	5.6-10.0
$p \rightarrow e^+ K_L^0$	0.18	≤ 0.1	0	2.00	4.4	4.4	---
$p \rightarrow e^+ K^0$					6.0	6.0	
$p \rightarrow e^+ \rho^0$	0.15	2.2	0	1.56	2.9	2.9	2.1- 3.2
$p \rightarrow e^+ \omega^0$	0.08	1.1	0	1.69	1.7	1.7	1.7- 3.4
$p \rightarrow e^+ K^{*0}$	0.05	0.8	0	1.56	1.0	1.0	1.0- 1.6
$p \rightarrow \mu^+ \pi^0$	0.44	0.2	0	1.50	8.1	8.1	4.4- 8.2
$p \rightarrow \mu^+ \eta^0$	0.20	0.8	1	1.56	2.3	2.6	2.6- 5.3
$p \rightarrow \mu^+ K_S^0$	0.34	1.2	0	1.56	6.4	6.4	5.8- 9.0
$p \rightarrow \mu^+ K_L^0$	0.18	≤ 0.1	0	2.00	4.4	4.4	---
$p \rightarrow \mu^+ K^0$					5.4	5.4	
$p \rightarrow \mu^+ \rho^0$	0.05	0.5	0	1.83	1.2	1.2	1.1- 2.0
$p \rightarrow \mu^+ \omega^0$	0.06	1.0	0	1.56	1.1	1.1	1.1- 1.6
$n \rightarrow e^+ \pi^-$	0.25	≤ 0.1	0	2.00	7.0	7.0	3.3-7.8
$n \rightarrow e^+ \rho^-$	0.19	1.4	0	1.56	4.1	4.1	1.3- 5.8

Durée de vie proton

Autre résultat : les neutrinos atmosphériques !!!

Z. Phys. C 66, 417–428 (1995)

Determination of t with the Fréjus de

Fréjus Collaboration

K. Daum^{4,*}, W. Rhode⁴, P. Bare
L. Mosca³, L. Moscoso³, O. Perd

¹ Paris-Sud, IN2P3-CNRS, Orsay, France

² LPNHE, Ecole Polytechnique, IN2P3-C

³ CEA, DSM, DAPNIA/SPP, C.E. Saclay

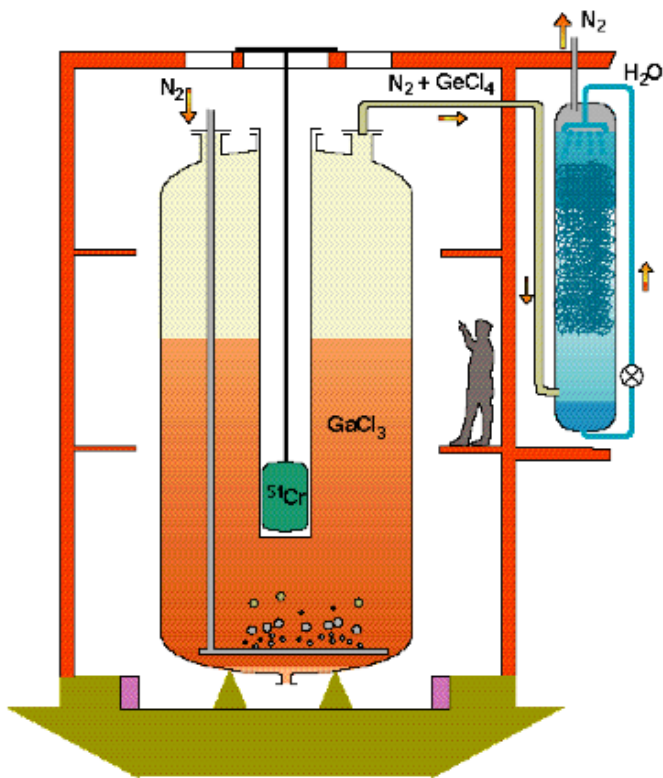
⁴ Fachbereich Physik, Bergische Universi

Received: 2 February 1995

Abstract. The combined analysis of the final event set of data on neutrino interactions inside the detector, upward going stopping muons and horizontal muons recorded in the Fréjus experiment is presented. The absolute atmospheric neutrino spectra in the energy range $320 \text{ MeV} < E_{\nu_e} < 30 \text{ GeV}$ for electron neutrinos and $250 \text{ MeV} < E_{\nu_\mu} < 10 \text{ TeV}$ for muon neutrinos are determined. Based on the parameterization of Volkova for the ν_μ -flux a spectral index of $\gamma = 2.66 \pm 0.05$ is obtained from the ratio of horizontal muons over upward going stopping muons and from the measurement of the energy loss of horizontal muons inside the detector. The neutrino spectra are compared with various flux calculations. They do not show any evidence for neutrino oscillations in agreement with earlier analyses of the Fréjus data.

$$R = \frac{(n_\mu/n_e)_{data}}{(n_\mu/n_e)_{MC}} = 1.00 \pm 0.15 \text{ (stat.)} \pm 0.08 \text{ (syst.)}$$

GALLEX



30 tonnes de gallium (100 tonnes GaCl_3).
Heidelberg/ Munich / Milan / Rome/ Saclay / BNL
M. Cribier, J. Rich, M. Spiro, D. Vignaud
+ C. Tao + T. Stolarczyk,...

Prise de données : 1990-1998
“Calibration” avec une source radioactive de Cr-51

Résultat : **observation des neutrinos pp**,
55% des neutrinos attendus, déficit interprété dans le
cadre de l'effet MSW et de l'oscillation des neutrinos.

W. Hampel et al., Phys. Lett. B 447 (1999) 127.

Motivations et contributions :

**- Compréhension du fonctionnement du Soleil :
coopération avec astrophysiciens (papiers en commun),
organisation conférence Inside the Sun (1989)**

**PHYSICS REPORTS (Review Section of Physics Letters) 230, Nos. 2–4 (1993) 57–235.
North-Holland**

The solar interior

S. Turck-Chièze^a, W. Däppen^b, E. Fossat^c, J. Provost^d, E. Schatzman^e and D. Vignaud^f

^a *DAPNIA, Service d'Astrophysique, CE Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France*

^b *Department of Astronomy, University of Southern California, Los Angeles CA 90089, USA*

^c *Département d'Astrophysique, Université de Nice, Sophia Antipolis, 06 Nice, France*

^d *Observatoire de Nice, BP 229, 06304 Nice Cedex 4, France*

^e *Observatoire de Meudon, DASGAL, 5 Place J. Janssen, 92195 Meudon Cedex, France*

^f *DAPNIA, Service de Physique des Particules, CE Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France*

Received November 1992; editor: D.N. Schramm

GALLEX

Motivations et contributions :

**- Compréhension du fonctionnement du Soleil :
coopération avec astrophysiciens (papiers en commun),
organisation conférence Inside the Sun (1989)**

INSIDE THE SUN

PROCEEDINGS OF THE 121ST COLLOQUIUM OF THE
INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION,
HELD AT VERSAILLES, FRANCE, MAY 22-26, 1989

edited by

GABRIELLE BERTHOMIEU

Observatoire de la Côte d'Azur, Nice, France

and

MICHEL CRIBIER

CEN Saclay, France

Motivations et contributions :

- Compréhension du fonctionnement du Soleil : coopération avec astrophysiciens (papiers en commun), organisation conférence Inside the Sun (1989)
- Contributions à la découverte de l'oscillation des neutrinos (papiers sur l'effet MSW)

Matter Effects for Solar Neutrino Oscillations

J. Bouchez¹, M. Cribier¹, W. Hampel², J. Rich¹, M. Spiro¹, D. Vignaud¹

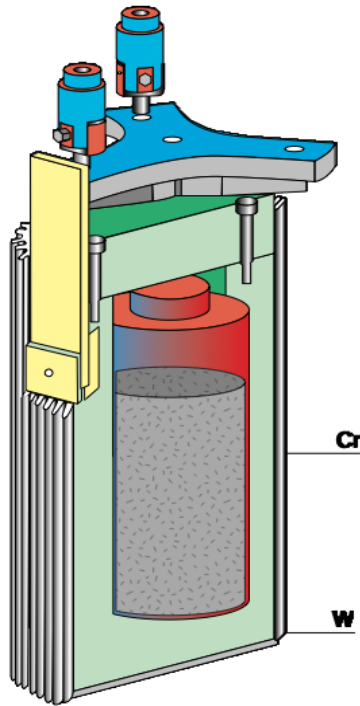
¹ DPhPE, CEN Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette, France

² Max Planck Institut für Kernphysik, D-6900 Heidelberg, Federal Republic of Germany

Received 7 May 1986; in revised form 16 June 1986

Z. Phys. C – Particles and Fields 32, 499–511 (1986)

GALLEX

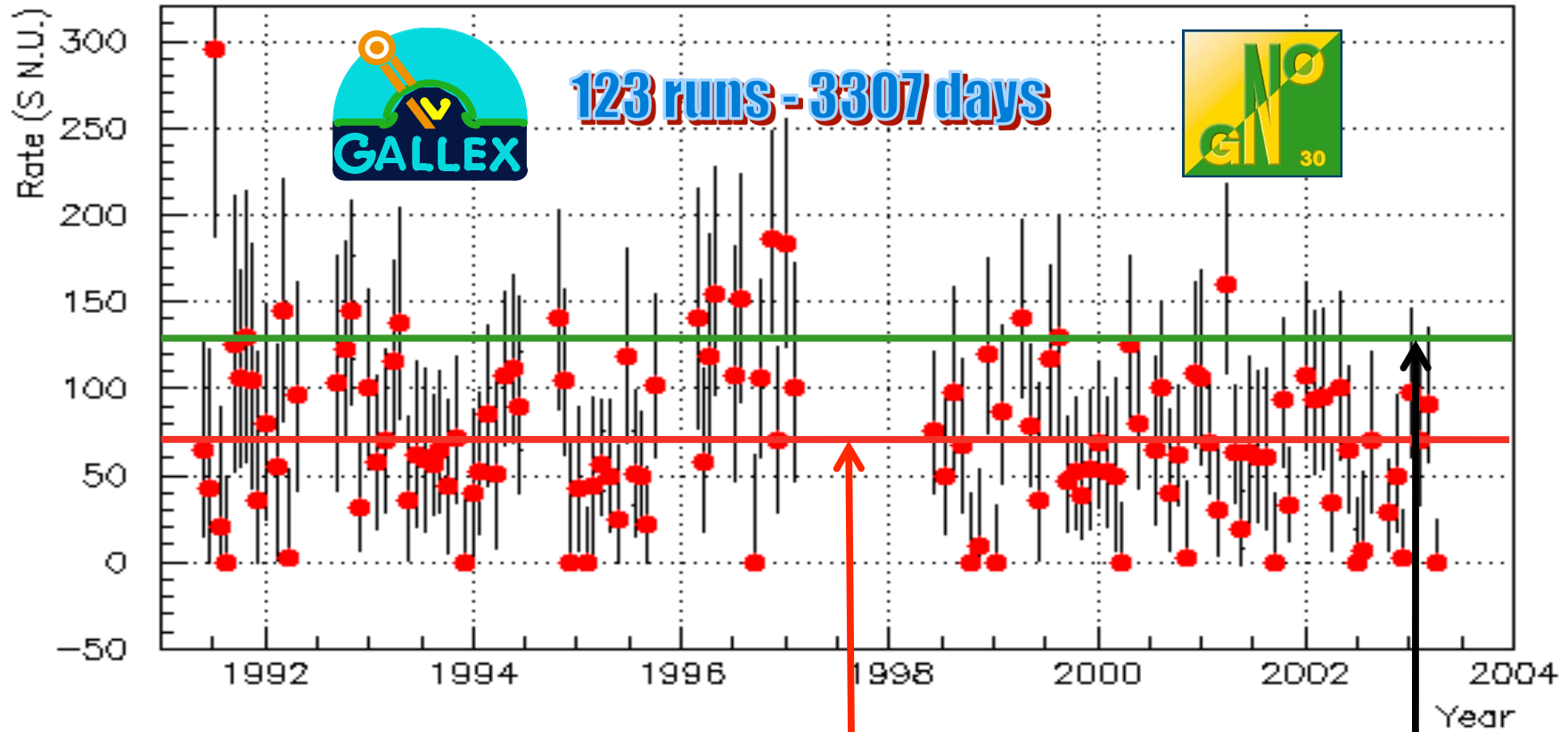


Motivations et contributions :

- Compréhension du fonctionnement du Soleil : coopération avec astrophysiciens (papiers en commun), organisation conférence Inside the Sun (1989)
- Contributions à la découverte de l'oscillation des neutrinos (papiers sur l'effet MSW)
- **Construction d'une source artificielle de 65 PBq de neutrinos (Cr51), avec les équipes techniques du DAPNIA et du CEN Grenoble**

GALLEX

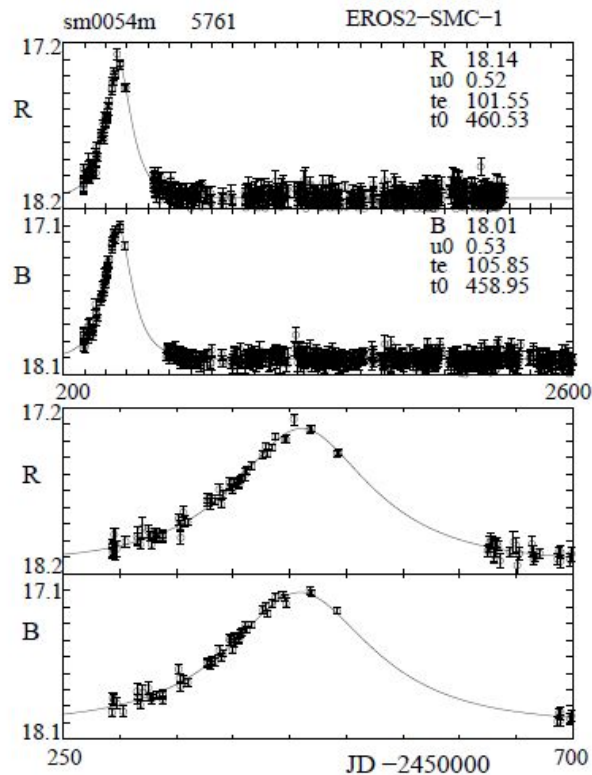
Motivations et contributions :



GALLEX + GNO 67.6 ± 4.0 (stat) ± 3.2 (sys) SNU

55% des prédictions des modèles solaires

EROS



Recherche de matière noire baryonique (MACHO's) par effet de microlentille gravitationnelle.

Cible : Nuages de Magellan (LMC et SMC)

SPP / SAp / IAP / LAL

J. Rich, M. Spiro, E. Lesquoy, L. Moscoso, E. Aubourg.

P. Bareyre, A. Milsztajn, N. Palanque-Delabrouille,

Th. Lasserre,...

EROS 1 (1990-...) : plaques photographiques

EROS 2 (1995-...) : Télescope Marly + CCD

Suivi de 25 millions d'étoiles

Publications : 1993-2009

Résultat : **observation de quelques candidats**, finalement interprétés par des étoiles variables.

E. Aubourg et al., Nature 365 (1993) 623.

EROS

Limits on the Macho Content of the Galactic Halo from the EROS-2 Survey of the Magellanic Clouds*

P. Tisserand^{1**}, L. Le Guillou^{1***}, C. Afonso^{1†}, J.N. Albert², J. Andersen⁵, R. Ansari², É. Aubourg^{1‡}, P. Baireyre¹, J.P. Beaulieu³, X. Charlot¹, C. Coutures^{1,3}, R. Ferlet³, P. Fouqué^{7,8}, J.F. Glicenstein¹, B. Goldman^{1§}, A. Gould⁶, D. Graff^{6¶}, M. Gros¹, J. Haissinski², C. Hamadache¹, J. de Kat¹, T. Lasserre¹, É. Lesquoy^{1,3}, C. Loup³, C. Magneville¹, J.B. Marquette³, É. Maurice⁴, A. Maury^{8||}, A. Milsztajn¹, M. Moniez², N. Palanque-Delabrouille¹, O. Perdureau², Y.R. Rahal², J. Rich¹, M. Spiro¹, A. Vidal-Madjar³, L. Vigroux^{1,3}, S. Zylberajch¹
The EROS-2 collaboration

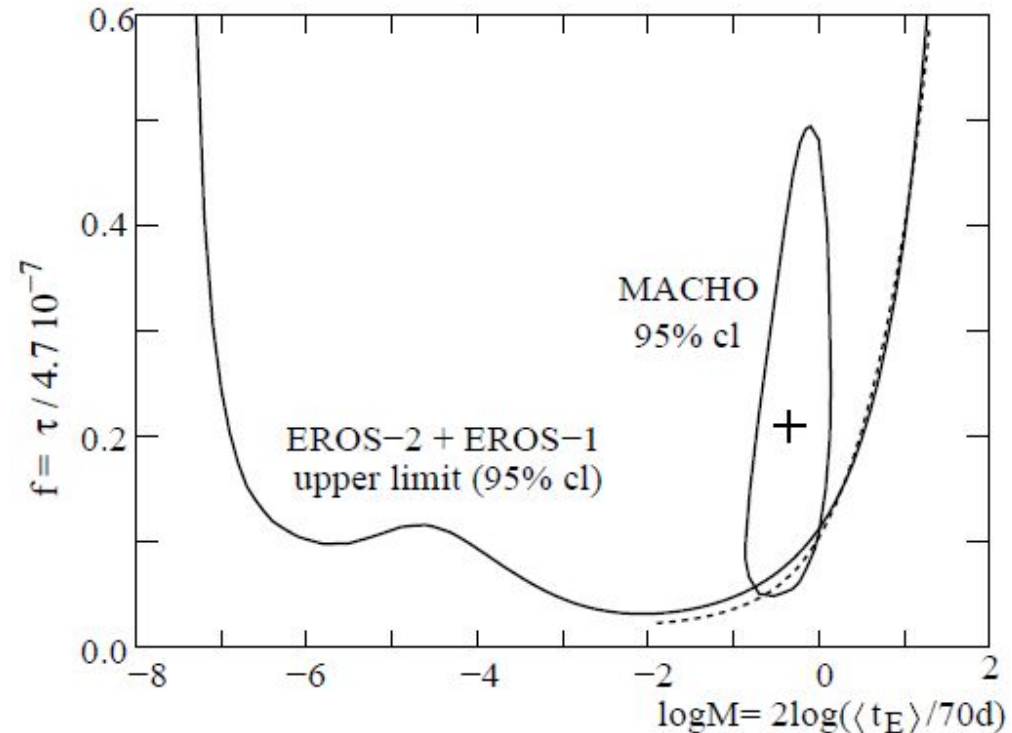
astro-ph 0607207

Autres recherches :

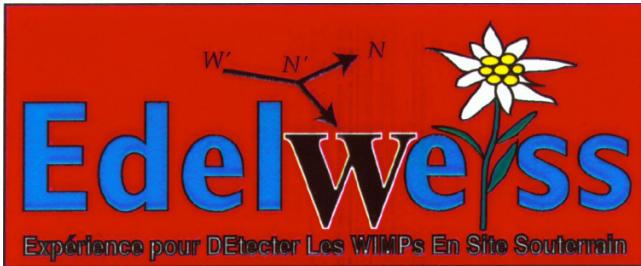
- ❖ Etoiles variables
- ❖ Supernovae

AGAPE

**PCC Collège
Microlentille vers
Andromède**

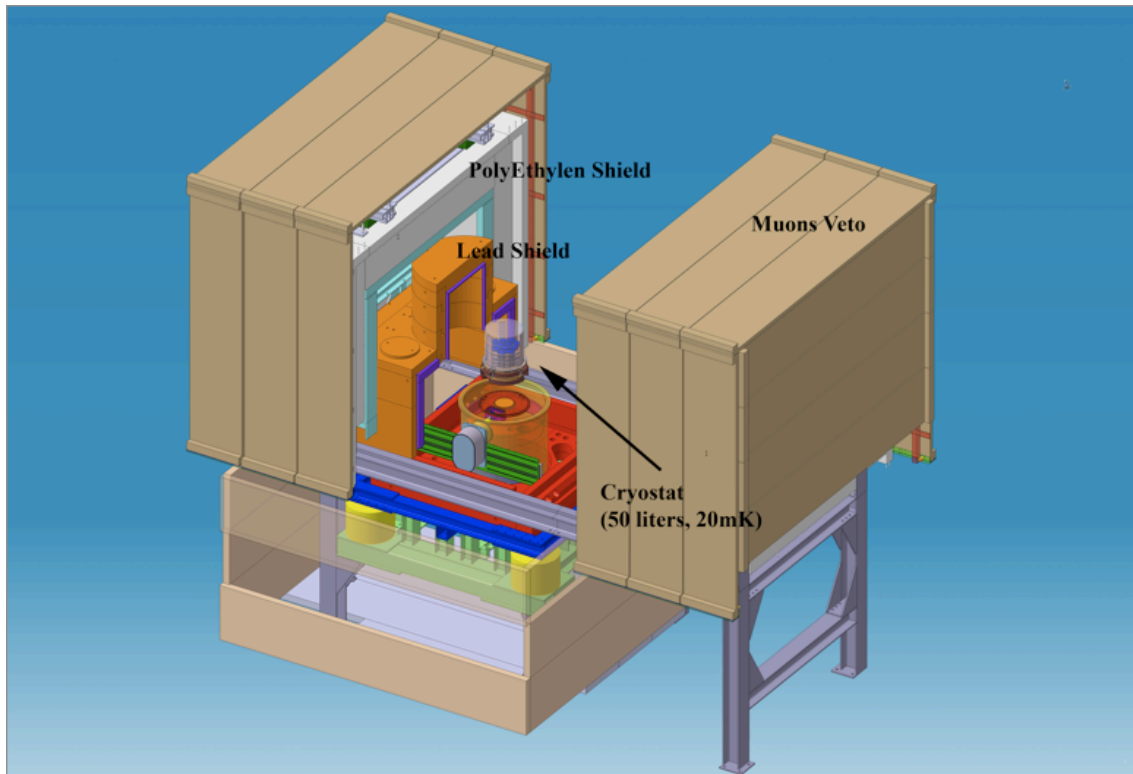


EDELWEISS



Recherche de matière noire (WIMP's) avec des bolomètres – Diffusion élastique
CEA (IRFU et al.) / CNRS (CSNSM, CRTBT, IAP, Lyon) / Karlsruhe / Oxford
G. Chardin, G. Gerbier, L. Mosca, E. Armengaud,...

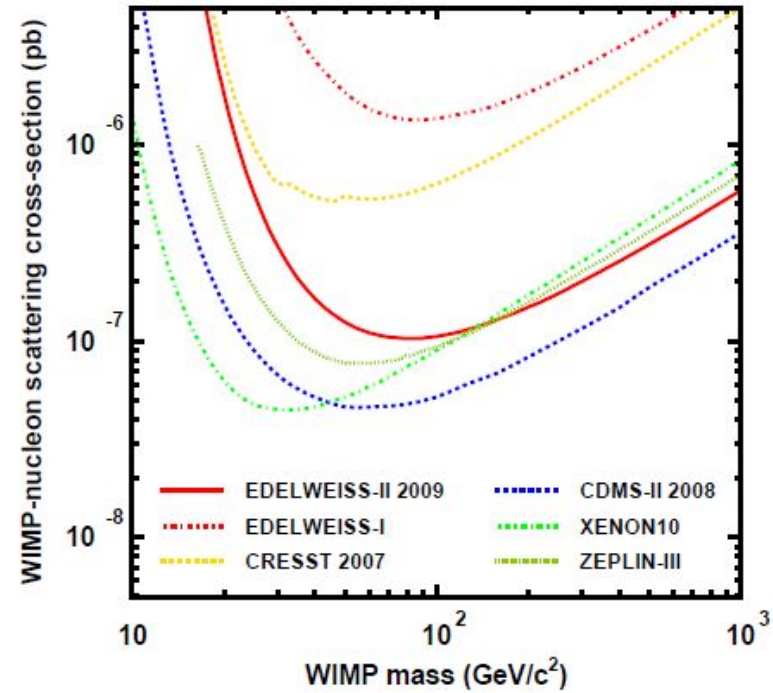
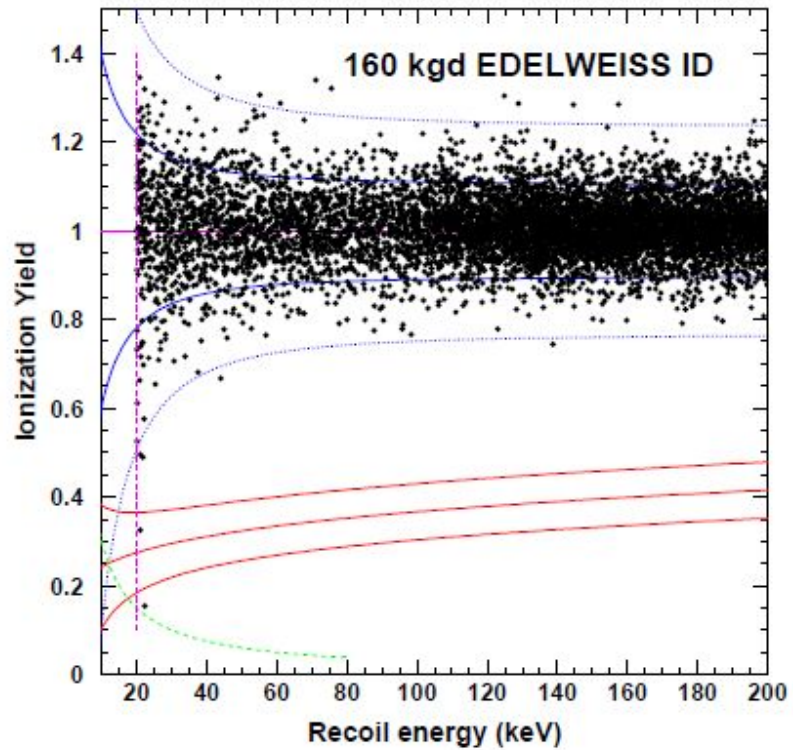
R&D depuis 1991 ... – Participation LPC Collège (->1996)
EDELWEISS 1 (2002)
EDELWEISS 2 (2009)
Publications : 1993-2009



Cristaux de Ge ultra-pur (360 g)
9 détecteurs pour run 2009
Cryogénie élaborée
Blindage sophistiqué (muons et neutrons)

EDELWEISS

Recherche de matière noire (WIMP's) avec des bolomètres



E. Armengaud et al., arXiv 0912.0805

ELSEVIER

Astroparticle Physics 3 (1995) 361–366

Calibration of a Ge crystal with nuclear recoils for the development of a dark matter detector

Y. Messous^a, B. Chambon^a, V. Chazal^a, M. De Jésus^a, D. Drain^a, C. Pastor^a, A. de Bellefon^b,
M. Chapellier^c, G. Chardin^d, E. Gaillard-Lecanu^d, G. Gerbier^d, Y. Giraud-Héraud^b,
D. Lhote^c, J. Mallet^d, L. Mosca^d, M.-C. Perillo-Isaac^b, C. Tao^b, D. Yvon^d

^a Institut de Physique Nucléaire de Lyon and Université Claude Bernard, Lyon 1, IN2P3-CNRS, 43 Bd du 11 Novembre 1918, F-69622 Villeurbanne cedex, France

^b Laboratoire de Physique Corpusculaire, Collège de France/IN2P3-CNRS, 11 Place Marcelin Berthelot, F-75231 Paris, France

^c CEA, Centre d'Etudes de Saclay, DRECAM, Service de Physique de l'Etat Condensé, F-91191 Gif/Yvette Cedex, France

^d CEA, Centre d'Etudes de Saclay, DAPNIA, Service de Physique des Particules, F-91191 Gif sur Yvette cedex, France

Received 28 December 1994

Abstract

The ionization deposited in a Ge crystal by the scattering of ≈ 1 MeV neutrons on Ge nuclei is measured and its low-energy behavior is investigated down to recoil energies of 3 keV. This calibration study is fundamental for the discrimination of Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) from the radioactive background. Experimental results are compared with theoretical predictions.

Aussi : A. de Bellefon et al, Dark matter search with a low temperature sapphire bolometer, Astroparticle Phys. 6 (1996) 35

ANTARES

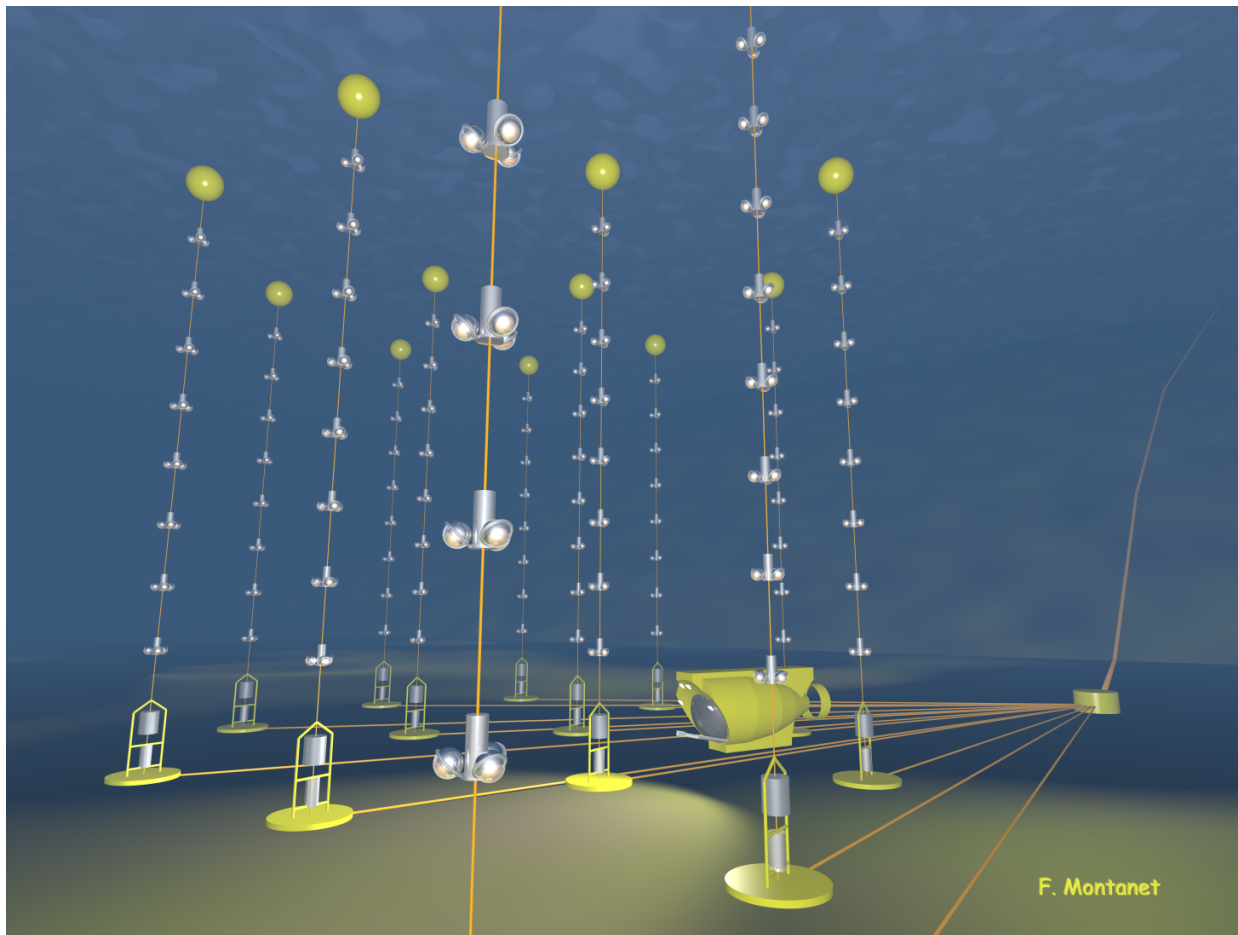


Astronomie neutrino à haute énergie

IRFU/ CNRS (Marseille,...) / ...

L. Moscoso, S. Loucatos, T. Stolarczyk, + services techniques DAPNIA...

Détection rayonnement Cerenkov avec l'ignes de PM au fond de la mer (large Toulon)



- ❖ Premières idées : 1990 (NET, L. Moscoso)
- ❖ Collaboration avec NESTOR : 1993-1996
- ❖ Lancement ANTARES (JJ Aubert + Saclay) : 1995
- ❖ APC (A. Kouchner et al.) : depuis 2004
- ❖ Détecteur complet : 2008
- ❖ Futur : KM₃ NET

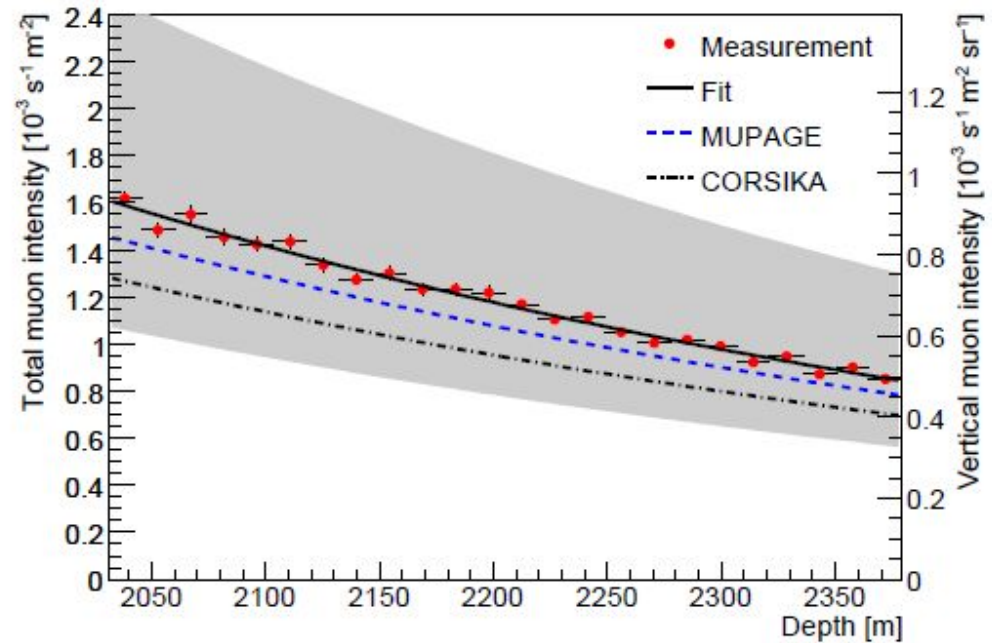
ANTARES



❖ Measurement of the atmospheric muon flux with a 4 GeV threshold in the ANTARES neutrino telescope

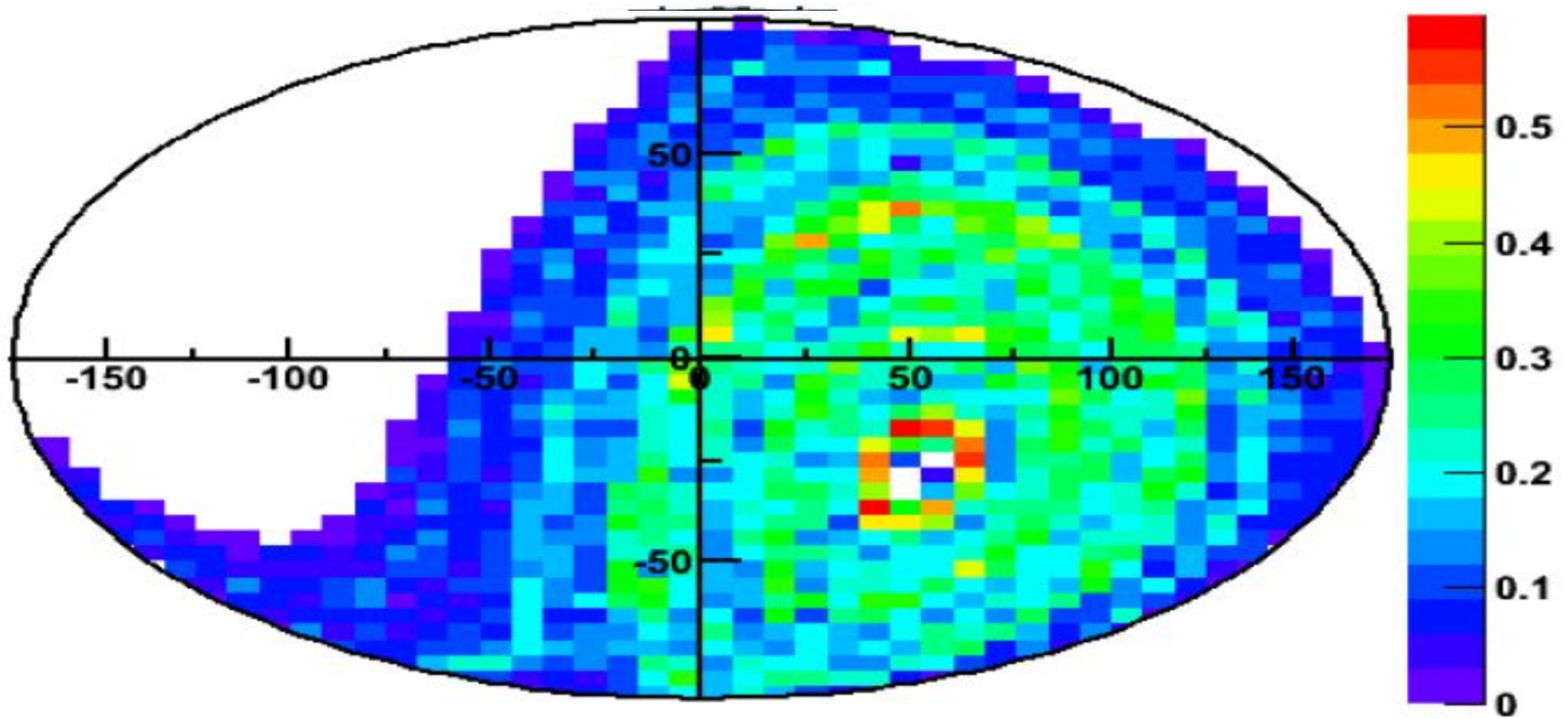
J.A. Aguilar et al.

Astroparticle Physics 33 (2010) 86 [[astro-ph/0910.4843](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0910.4843)]



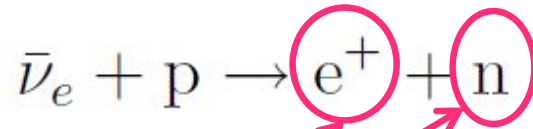
ANTARES

❖ Recherche de sources (cartographie des premiers neutrinos)



Bruit de fond des neutrinos atmosphériques

Bugey, Chooz



Détection
simultanée

Recherche d'oscillation neutrinos auprès des réacteurs :
vers la mesure de θ_{13} .

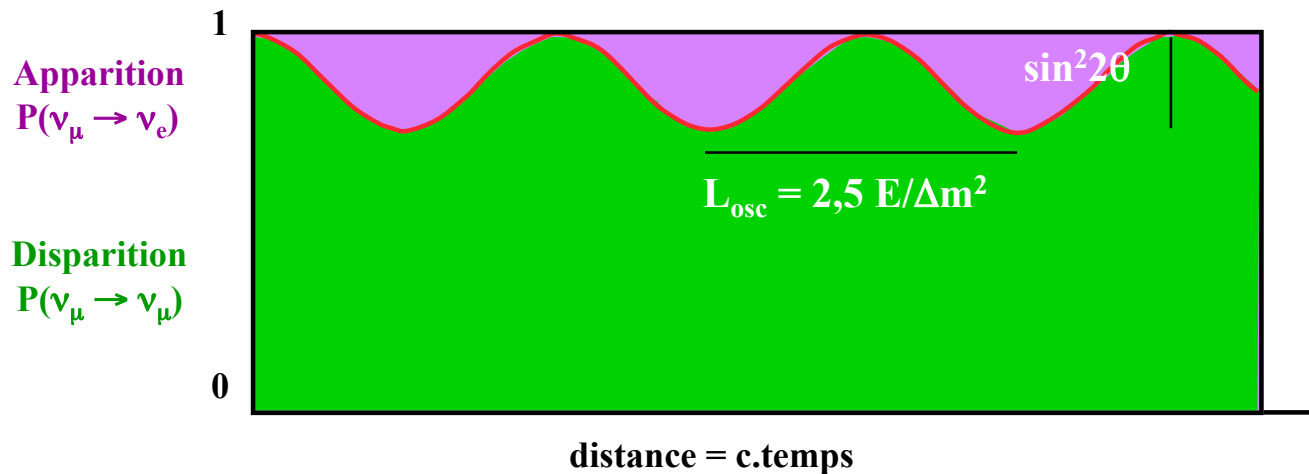
Bugey 1 (1984) – 13 m, 18 m

Grenoble / Annecy (H. de Kerret)

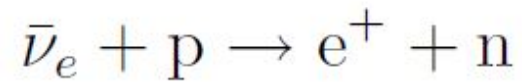
J.F. Cavaignac et al., Phys. Lett. B148 (1984) 387

Evidence pour une oscillation.

Nouvelle mesure (avec LPC Collège) et réanalyse avec
meilleure estimation du bdf des neutrons (M.
Obolensky) : le signal a disparu



Bugey, Chooz



H. De Kerret, M. Obolensky, D.
Kryn

J. Bouchez, R. Aleksan, F.
Pierre, E. Lesquoy, J. Mallet

Recherche d'oscillation neutrinos auprès des réacteurs :
vers la mesure de θ_{13} .

Bugey 1 (1984) – 13 m, 18 m

Grenoble / Annecy (H. de Kerret)

J.F. Cavaignac et al., Phys. Lett. B148 (1984) 387

Evidence pour une oscillation.

Nouvelle mesure (avec LPC Collège) et réanalyse avec
meilleure estimation du bdf des neutrons (M.

Obolensky) : le signal a disparu

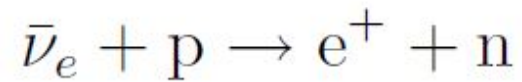
Bugey 2 (1994) – 15 m, 40 m, 95 m

Grenoble / Annecy / Marseille / LPC Collège / Saclay

B. Achkar et al., Nucl. Phys. B434 (1995) 503

Pas de signal d'oscillation

Bugey, Chooz



H. De Kerret, M. Obolensky, D.
Kryn

J. Bouchez, R. Aleksan, F.
Pierre, E. Lesquoy, J. Mallet

Recherche d'oscillation neutrinos auprès des réacteurs :
vers la mesure de θ_{13} .

Bugey 1 (1984) – 13 m, 18 m

Grenoble / Annecy (H. de Kerret)

J.F. Cavaignac et al., Phys. Lett. B148 (1984) 387

Evidence pour une oscillation.

Nouvelle mesure (avec LPC Collège) et réanalyse avec
meilleure estimation du bdf des neutrons (M.

Obolensky) : le signal a disparu

Bugey 2 (1994) – 15 m, 40 m, 95 m

Grenoble / Annecy / Marseille / LPC Collège / Saclay

B. Achkar et al., Nucl. Phys. B434 (1995) 503

Pas de signal d'oscillation

Chooz (1999) – 1050 m

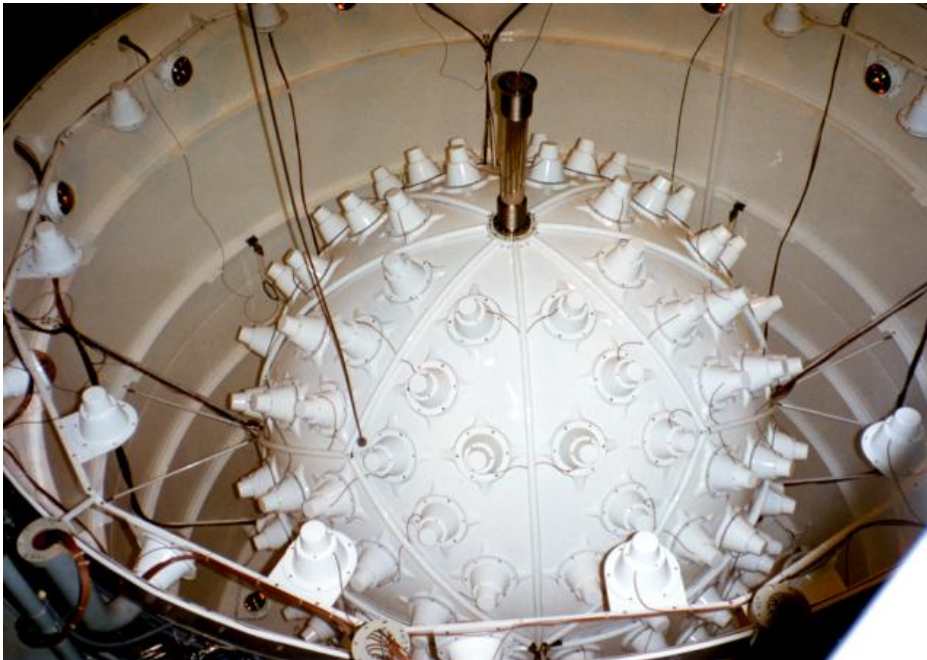
PCC Collège / Lyon / USA / Italie / Russie

M. Apollonio et al., Phys. Lett. B466 (1999) 415 – arXiv
9907037

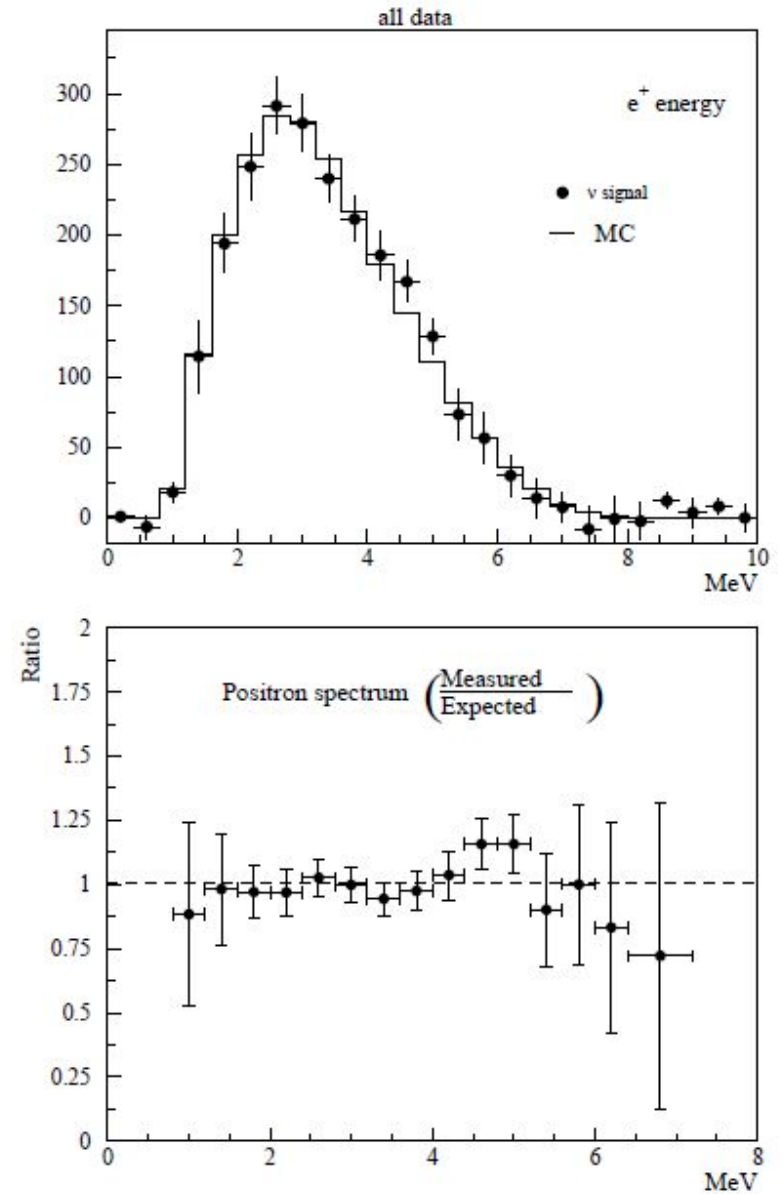
La limite de Chooz devient mondialement célèbre

Bugey, Chooz

Chooz (1999) : scintillateur liquide + PMT's

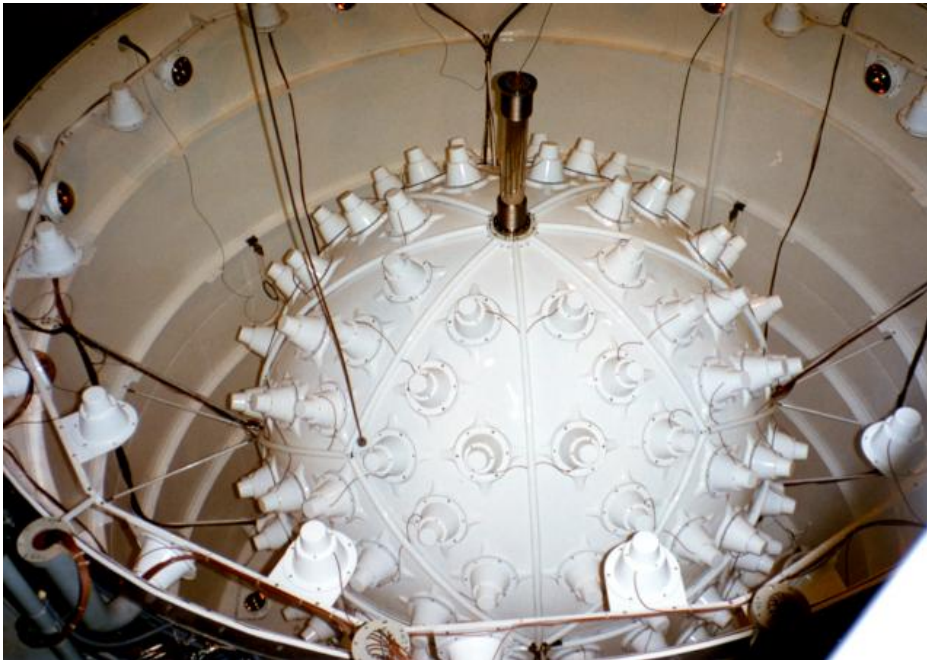


$$R = 1.01 \pm 2.8\%(\text{stat}) \pm 2.7\%(\text{syst})$$

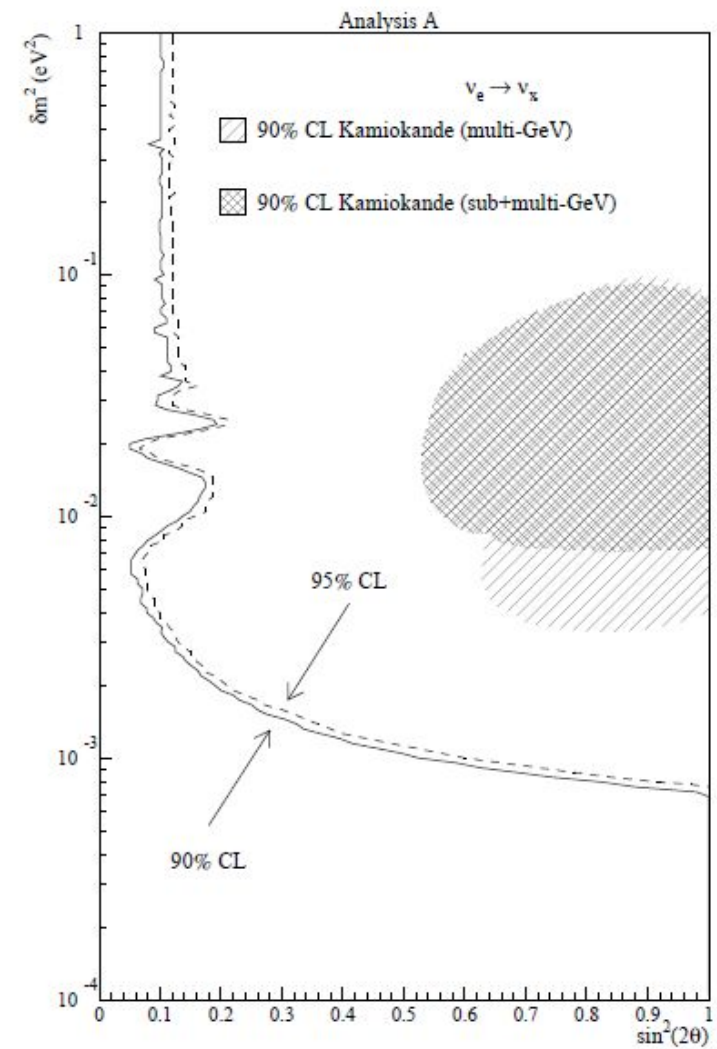


Bugey, Chooz

Chooz (1999) : scintillateur liquide + PMT's



$$R = 1.01 \pm 2.8\%(\text{stat}) \pm 2.7\%(\text{syst})$$

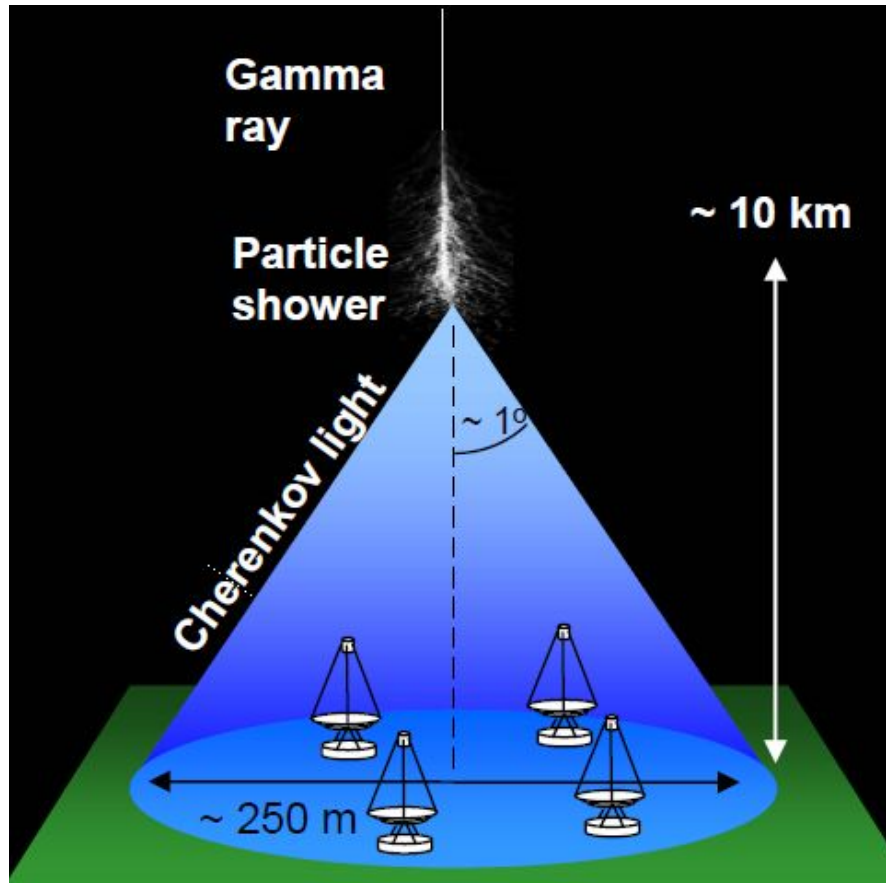


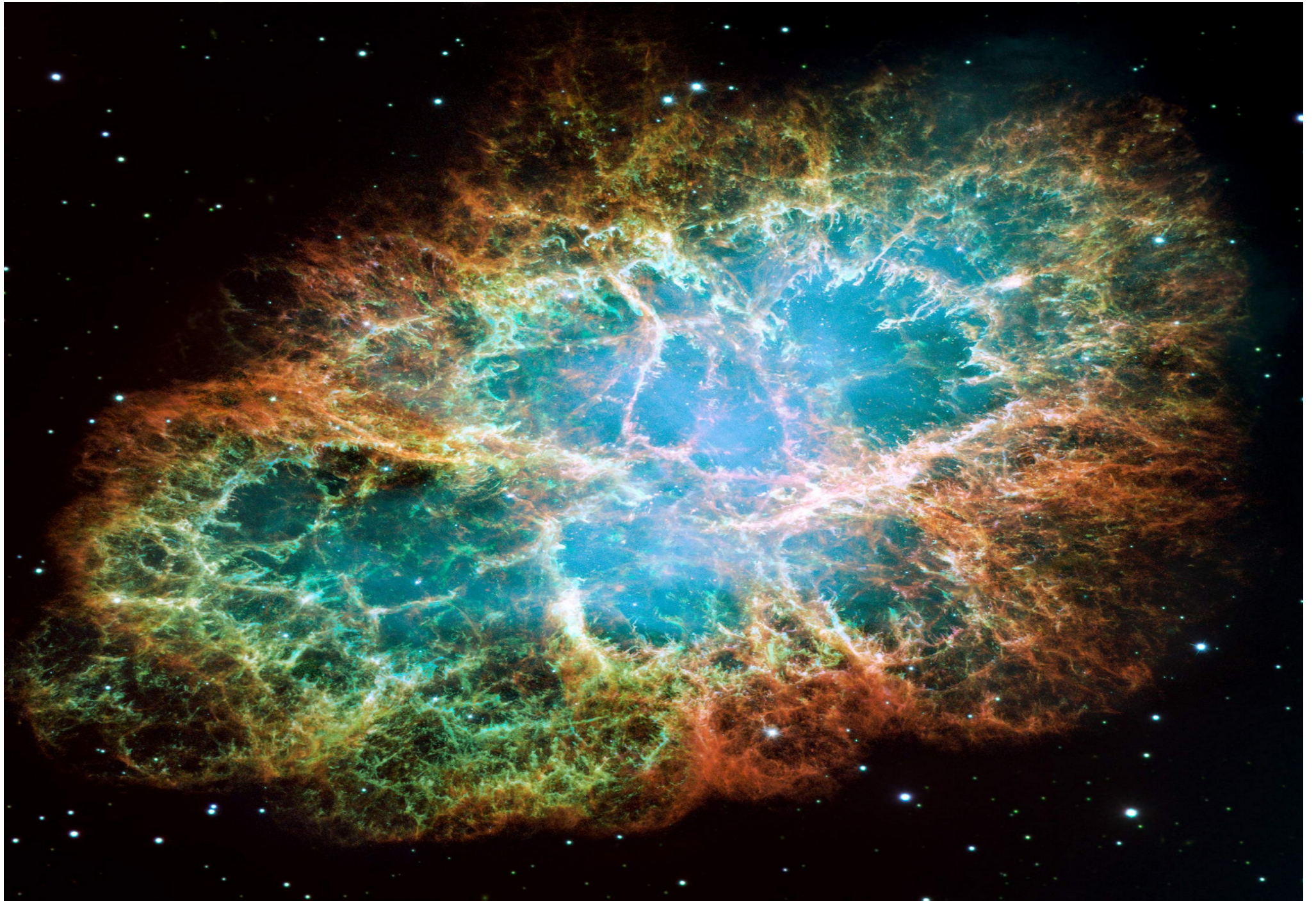
Thémistocle, CAT, CELESTE, HESS

Astronomie gamma à haute énergie au sol en mesurant le rayonnement Tcherenkov atmosphérique.

Séparer les gammas des hadrons.

Sources galactiques, extragalactiques, centre de la voie lactée,...





Thémistocle, CAT, CELESTE, HESS

Astronomie gamma à haute énergie au sol en mesurant le rayonnement Tcherenkov atmosphérique.

Séparer les gammas des hadrons.

1988 : Thémistocle sur le site de Thémis (idée Collège + P. Baillon)

1994 : Lancement de CAT (Seuil : 250 GeV)
Sources extragalactiques à haute énergie.
Very High Energy Gamma-ray spectral properties of Mrk 501 from CAT Cerenkov telescope observations in 1997, A&A 350 (1999)



Thémistocle, CAT, CELESTE, HESS

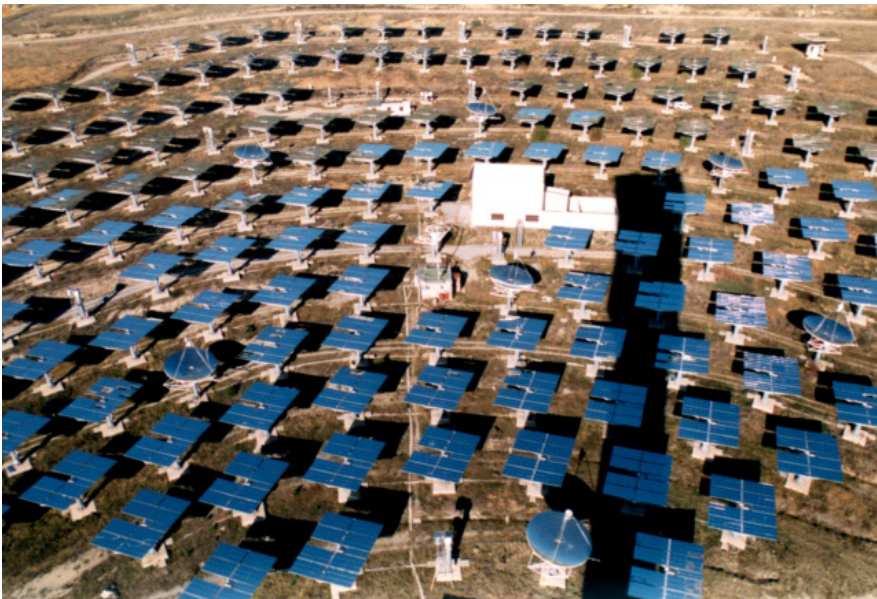
Astronomie gamma à haute énergie au sol en mesurant le rayonnement Tcherenkov atmosphérique.

Séparer les gammas des hadrons.

1988 : Thémistocle sur le site de Thémis (idée Collège + P. Baillon)

1994 : Lancement de CAT (Seuil : 250 GeV)
Sources extragalactiques à haute énergie.

1996 : Lancement de CELESTE
Measurement of the Crab Flux Above 60 GeV
with the CELESTE Cherenkov Telescope
Astrophys. J. 566 (2002) 343



Thémistocle, CAT, CELESTE, HESS

Astronomie gamma à haute énergie au sol en mesurant le rayonnement Tcherenkov atmosphérique.

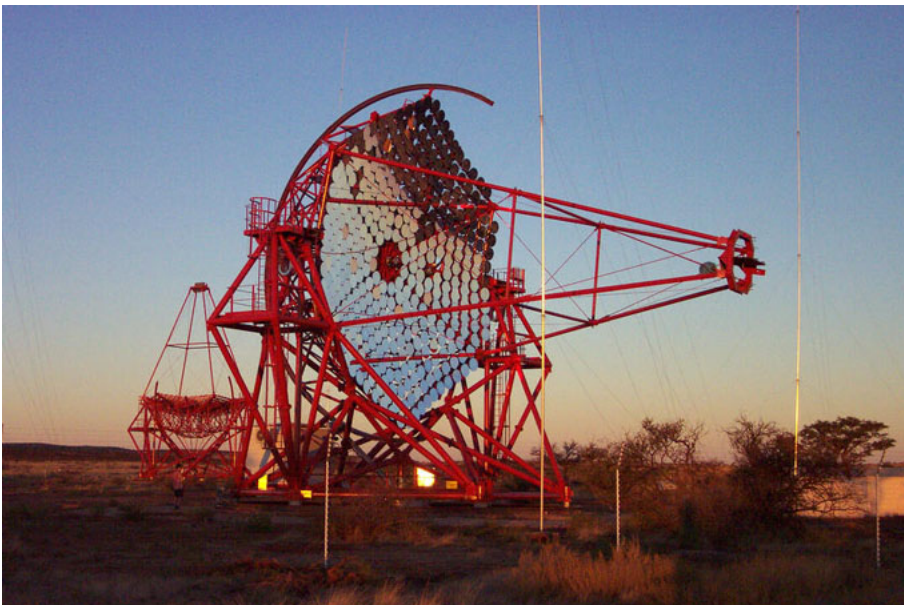
Séparer les gammas des hadrons.

1988 : Thémistocle sur le site de Thémis (idée Collège + P. Baillon)

1994 : Lancement de CAT (Seuil : 250 GeV)
Sources extragalactiques à haute énergie.

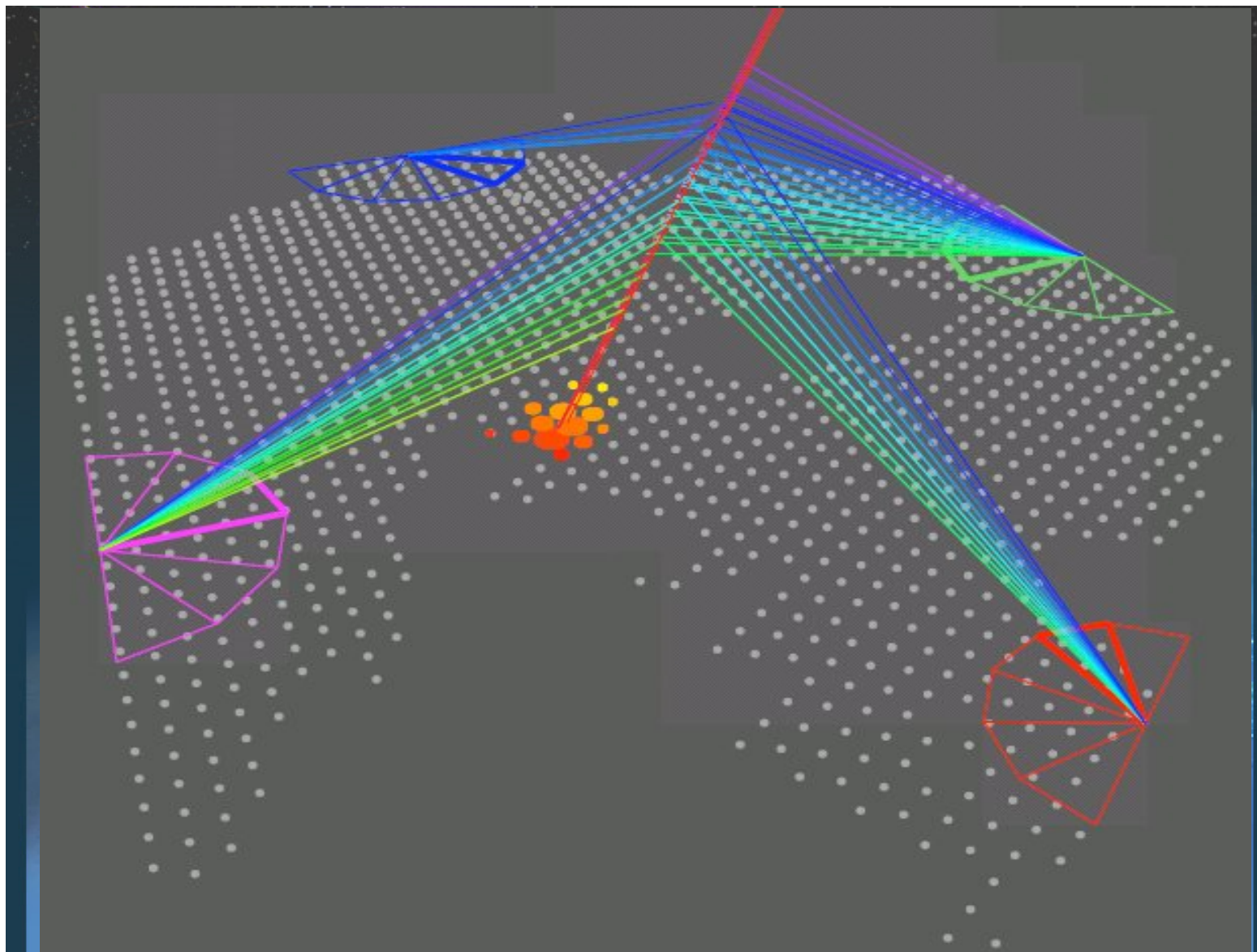
1996 : Lancement de CELESTE

1999 : Lancement de HESS (la Rolls-Royce du domaine) (M. Punch, A. Djannati-Ataï, P. Espigat, S. Pita) – France / Allemagne / ...
F. Aharonian et al., Astr. & Astroph. 425 (2004) L13



Auger

Etude du rayonnement cosmique à très haute énergie
($> 10^{18}$ eV)



Auger

Étude du rayonnement cosmique à très haute énergie
($> 10^{18}$ eV)

Premières idées : 1995 (J. Cronin, M. Boratav).

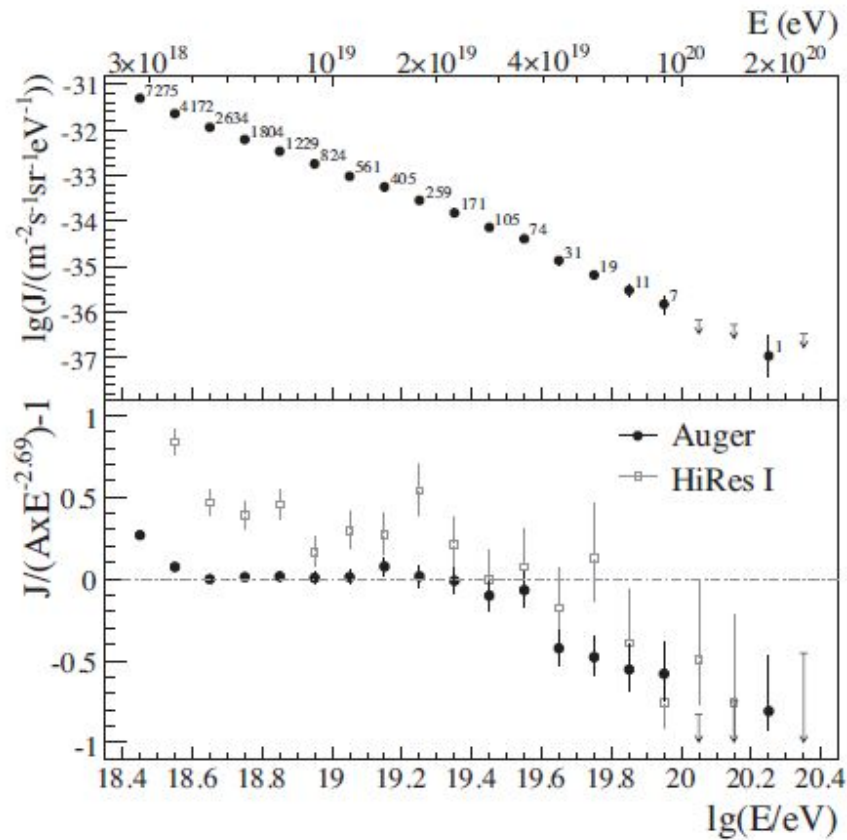
PCC (J.M. Brunet, L. Guglielmi, G. Tristram)

Détecteurs au sol + Fluorescence



Auger

Etude du rayonnement cosmique à très haute énergie ($> 10^{18}$ eV)



Premières idées : 1995

2000 : Début construction Observatoire

2006 : Premiers résultats

2008 : Inauguration

Confirmation de la coupure GZK
Observation of the suppression of the
flux of cosmic rays above 4×10^{19} eV
J. Abraham et al., arXiv:0806.4302

Auger

Etude du rayonnement cosmique à très haute énergie
($> 10^{18}$ eV)

Premières idées : 1995 (J. Cronin, M. Boratav).

2000 : Début construction Observatoire

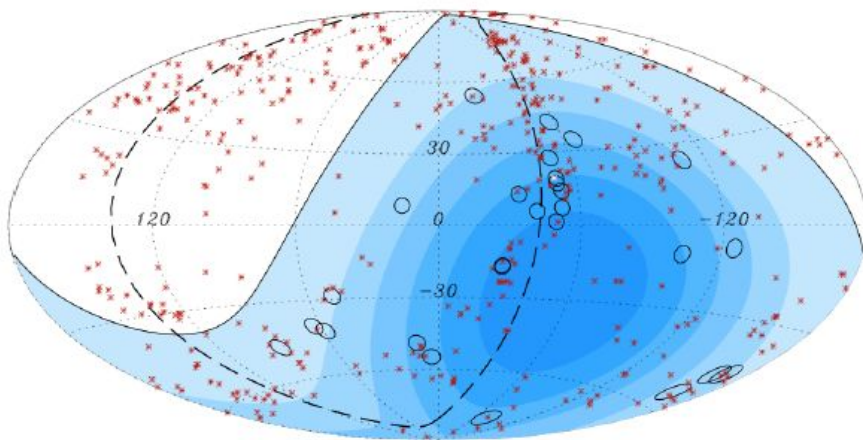
2006 : Premiers résultats

2008 : Inauguration

Confirmation de la coupure GZK
Observation of the suppression of the
flux of cosmic rays above 4×10^{19} eV
J. Abraham et al., arXiv:0806.4302

**Correlation of the highest-energy cosmic
rays with the positions of nearby active
galactic nuclei**

J. Abraham et al., *Science* 318 (2008) 938



Archéops

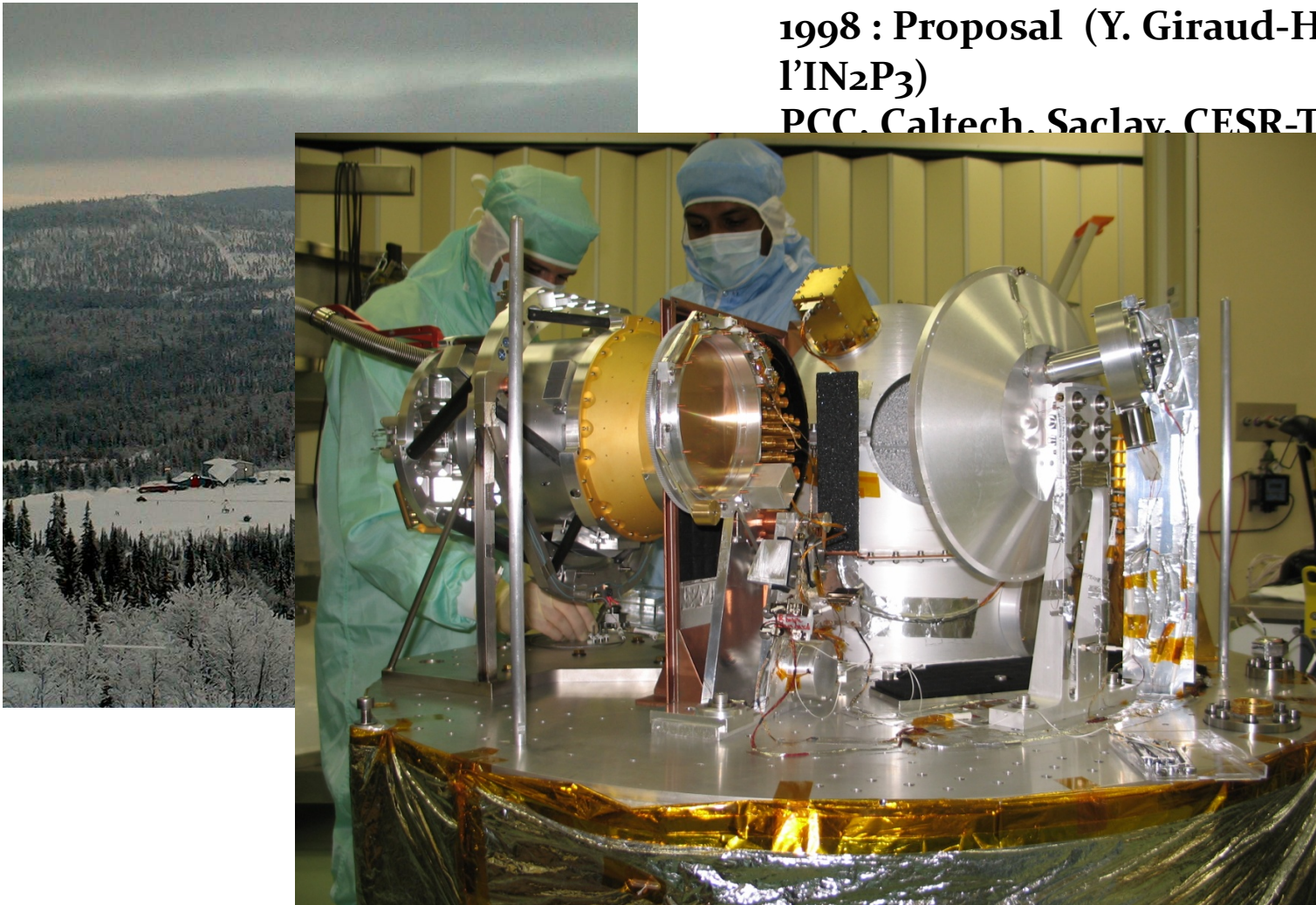
La plus belle R&D en cosmologie !
Recherche des anisotropies du fond diffus cosmologique à haute résolution angulaire et sur une large partie du ciel.

1998 : Proposal (Y. Giraud-Héraud au CS de l'IN₂P₃)

PCC, Caltech, Saclay, CESR-Toulouse,
Saclay, IAP, IAS
Cliff

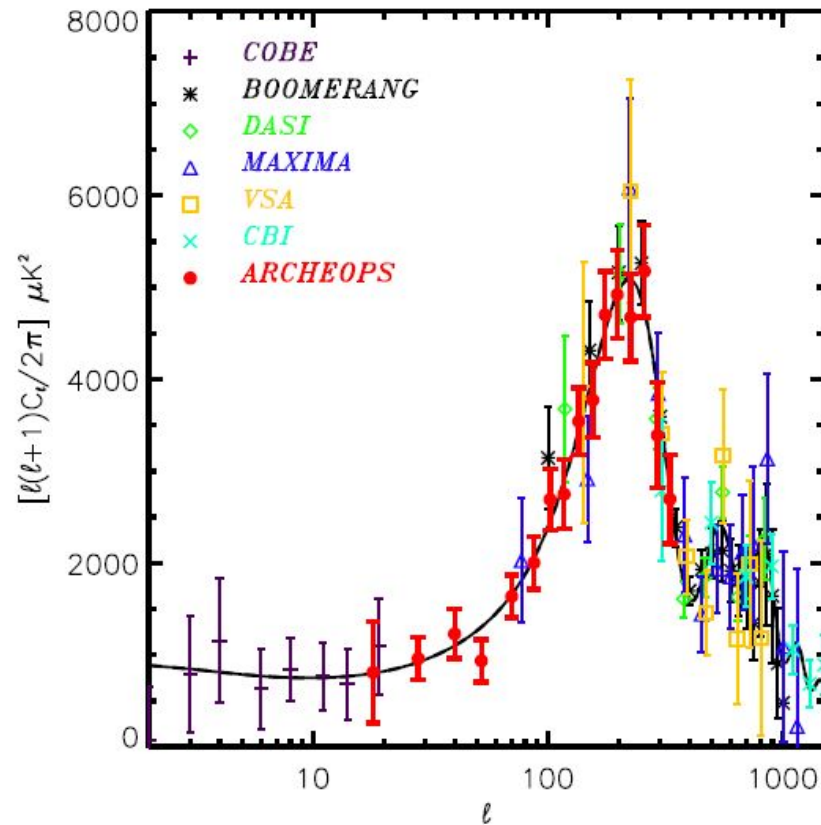
Y. Giraud-
nts
lle, D. Yvon

e : janvier 2001,



Archéops

La plus belle R&D en cosmologie !



Cosmological constraints from Archeops

A. Benoit¹, P. Ade², A. Amblard^{3,24}, R. Ansari⁴, É. Aubourg^{5,24}, S. Bargout⁴, J. G. Bartlett^{3,24}, J.-Ph. Bernard^{7,16}, R. S. Bhatia⁸, A. Blanchard⁶, J. J. Bock^{8,9}, A. Boscaleri¹⁰, F. R. Bouchet¹¹, A. Bourrachot⁴, P. Camus¹, F. Couchot⁴, P. de Bernardis¹², J. Delabrouille^{3,24}, F.-X. Désert¹³, O. Doré¹¹, M. Douspis^{6,14}, L. Dumoulin¹⁵, X. Dupac¹⁶, P. Filliatre¹⁷, P. Fosalba¹¹, K. Ganga¹⁸, F. Gannaway², B. Gautier¹, M. Giard¹⁶, Y. Giraud-Héraud^{3,24}, R. Gispert^{7†*}, L. Guglielmi^{3,24}, J.-Ch. Hamilton^{3,17}, S. Hanany¹⁹, S. Henrot-Versillé⁴, J. Kaplan^{3,24}, G. Lagache⁷, J.-M. Lamarre^{7,25}, A. E. Lange⁸, J. F. Macías-Pérez¹⁷, K. Madet¹, B. Maffei², Ch. Magneville^{5,24}, D. P. Marrone¹⁹, S. Masi¹², F. Mayet⁵, A. Murphy²⁰, F. Naraghi¹⁷, F. Nati¹², G. Patanchon^{3,24}, G. Perrin¹⁷, M. Piat⁷, N. Ponthieu¹⁷, S. Prunet¹¹, J.-L. Puget⁷, C. Renault¹⁷, C. Rosset^{3,24}, D. Santos¹⁷, A. Starobinsky²¹, I. Strukov²², R. V. Sudiwala², R. Teyssier^{11,23}, M. Tristram¹⁷, C. Tucker², J.-C. Vanel^{3,24}, D. Vibert¹¹, E. Wakui², and D. Yvon^{5,24}

Astronomy and Astrophysics 399 (2003) L25

$$\Omega_{\text{tot}} = 1.00^{+0.03}_{-0.02} \text{ (Archeops + CMB + HST)}$$

Quelques “**topcites**” (sur les résultats)

- Archéops – A. Benoit et al., *Astronomy and Astrophysics* 399 (2003) L25 : **165**
- Auger – J. Abraham et al., *Science* 318 (2008) 938 : **215**
- Bugey – B. Achkar et al., *Nucl. Phys. B*434 (1995) 503 : **481**
- Chooz – M. Apollonio et al., *Phys. Lett. B*466 (1999) 415 : **1409**
- DVP Fréjus – K. Daum et al., *Z. Phys. C*66 (1995) 417 : **244**
- Edelweiss – A. Benoit et al., *Phys. Lett. B*545 (2002) 43 : **177**
- EROS – E. Aubourg et al. , *Nature* 365(1993) 623 : **393**
- GALLEX – W. Hampel et al., *Phys. Lett. B*447 (1999) 127 : **1154**
- HESS – F. Aharonian et al., *Astronomy and Astrophysics* 425 (2004) L13 : **223**

C'était le bon temps...

...de la « Physique en chaise longue »*



** André Roussarie, 1988*

Que sont devenus les physiciens en chaise longue ?



Place aux jeunes pour présenter le futur !

F I N

