

Naissance d'un domaine : L'astroparticules

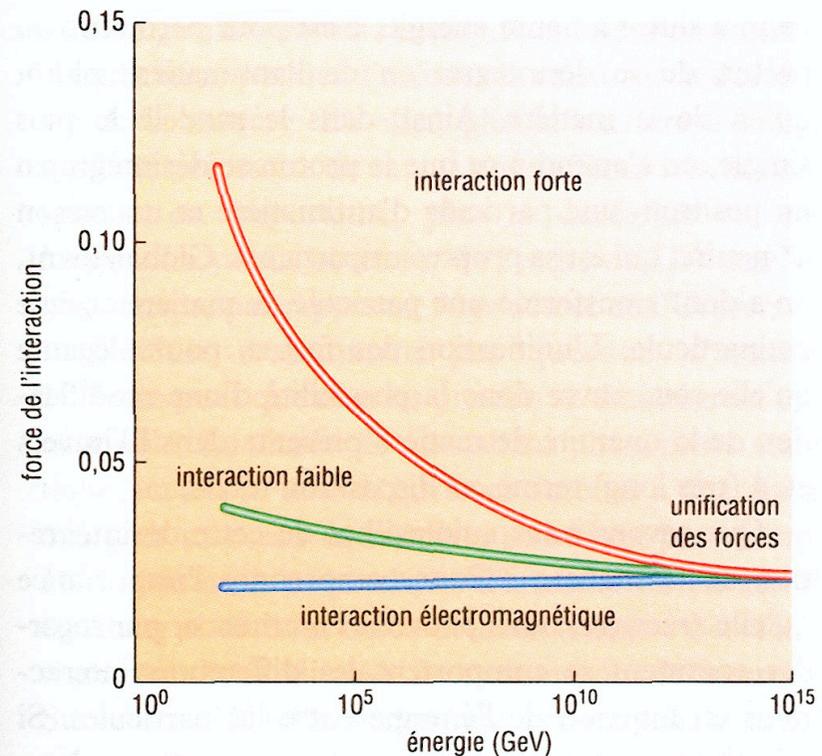
G. Chardin
CNRS

Naissance des astroparticules

- Fréjus proton decay detector
- Muons and multimuons
- Cygnus X-3
- CAT et Thémistocle, l'astronomie gamma de haute énergie
- MACHOs ou WIMPs ? EROS et EDELWEISS
- WIMP Dark Matter : EDELWEISS
- Dark Energy : S. Perlmutter, R. Pain, SCP, SNLS
- IR et TGIR Astroparticules : LSST, HESS, Antarès, CTA...
- Domaines à l'IN2P3
- Dirac-Milne, Gbar, ALPHA-g, AEGIS...

Désintégration de la matière

- Convergence des forces d'interaction)
- L'unification des forces prévoit des modes de désintégration du proton et du neutron (lié) car elle autorise par nature des passages entre quarks et leptons



Convergence des trois interactions.

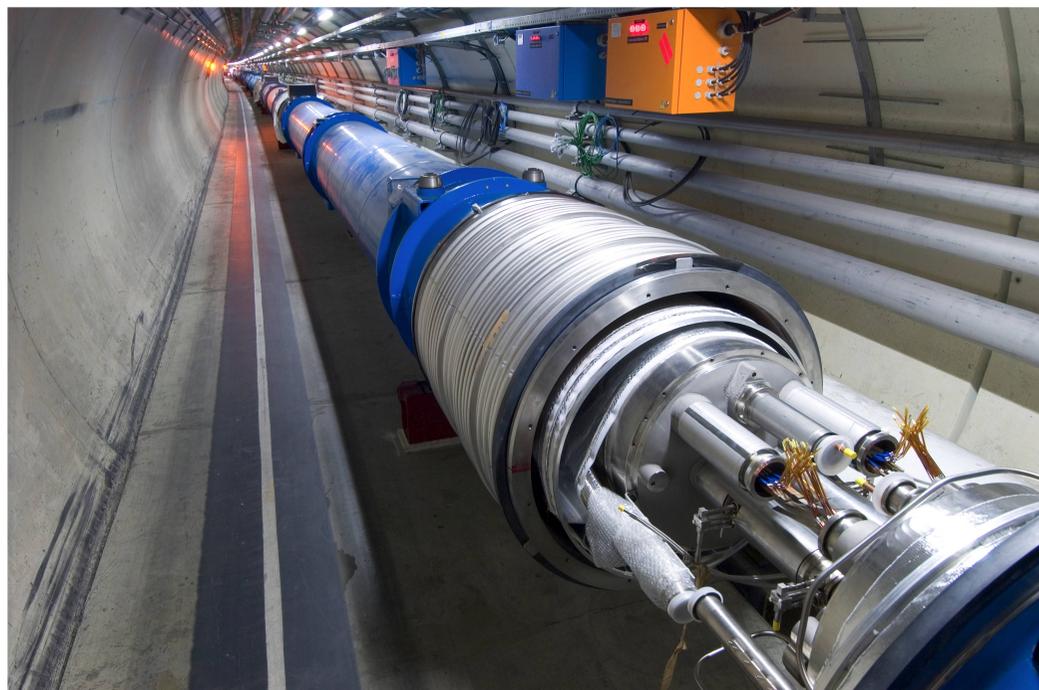
La façon dont la force des trois interactions faible, forte et électromagnétique converge lorsque l'énergie augmente suggère

fortement que ces trois forces se rassemblent en une seule et même force à très haute énergie, vers 10^{15} GeV.

Source : d'après S. Weinberg, *Les Particules élémentaires*, Belin.

Unification des forces

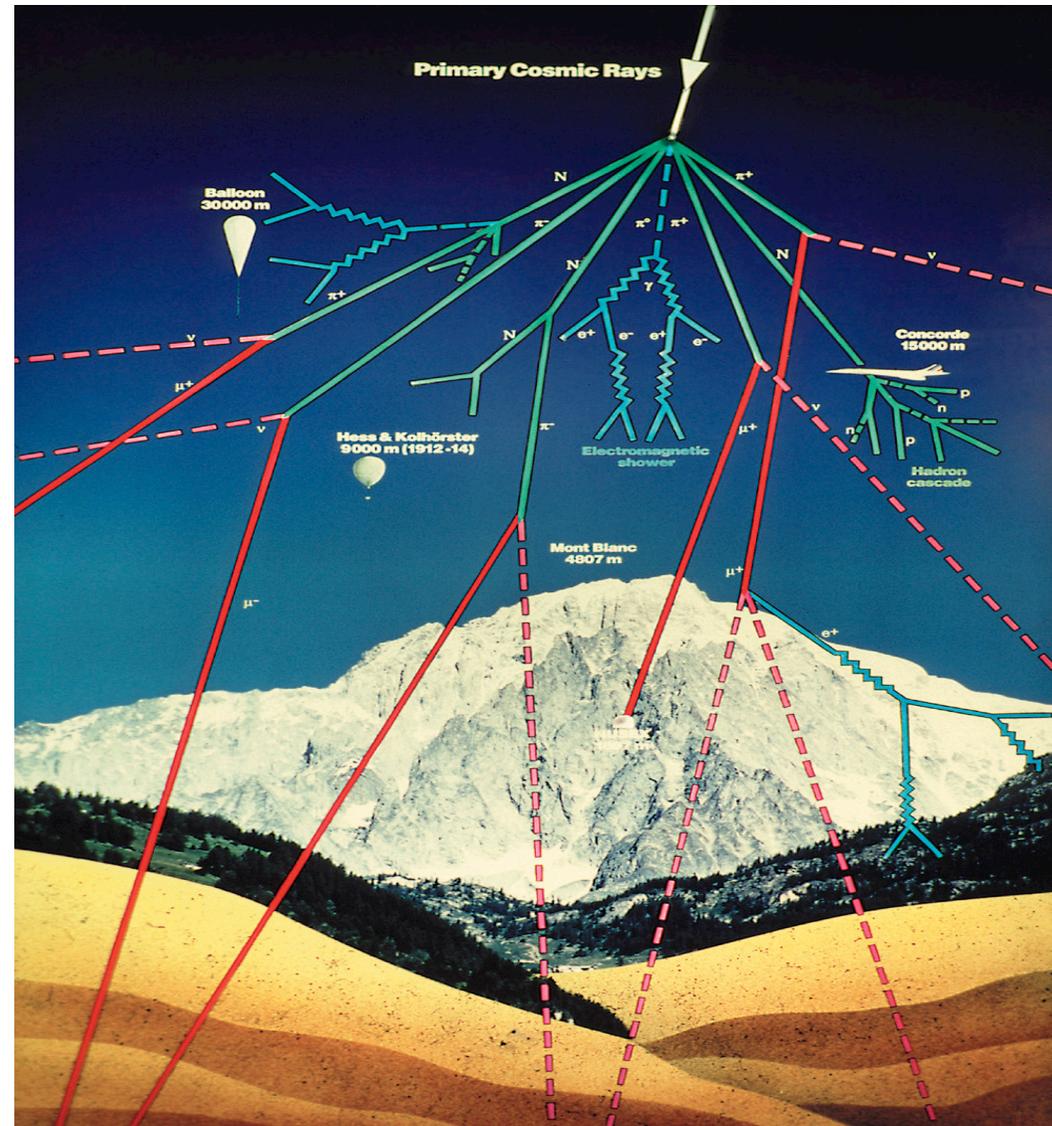
- Convergence des forces d'interaction)
- Pour obtenir au moyen d'un accélérateur **l'énergie nécessaire à l'unification des forces** faible, forte et électro-magnétique, il faudrait un **accélérateur plus grand que le système solaire**



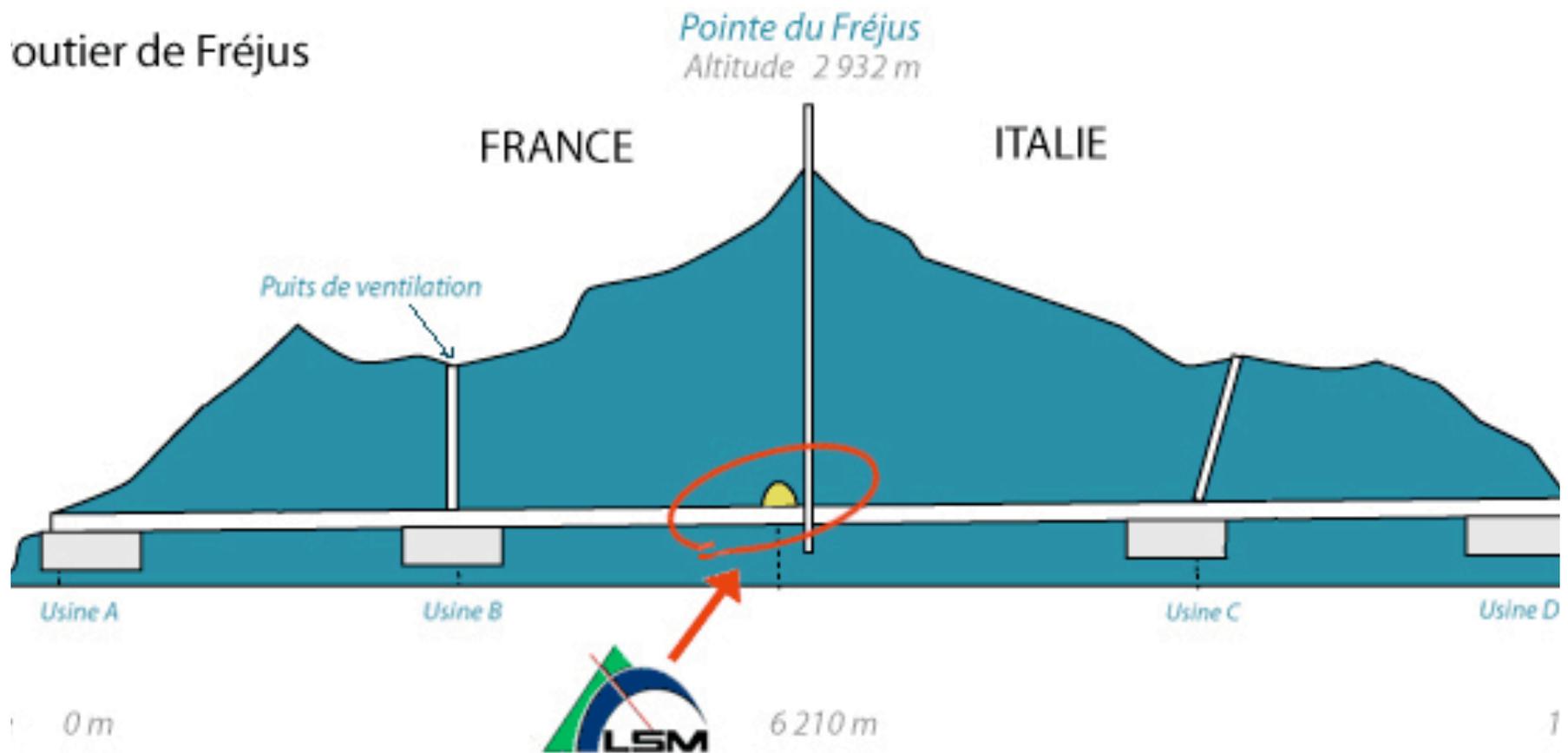
Le LHC et ses 27 km de circonférence

Observer la désintégration de la matière

- Commencer par se cacher sous une montagne ou au fond de la mer...
- ...afin de se protéger des rayons cosmiques (≈ 100 par seconde dans votre corps au niveau de la mer)



Observer la désintégration de la matière

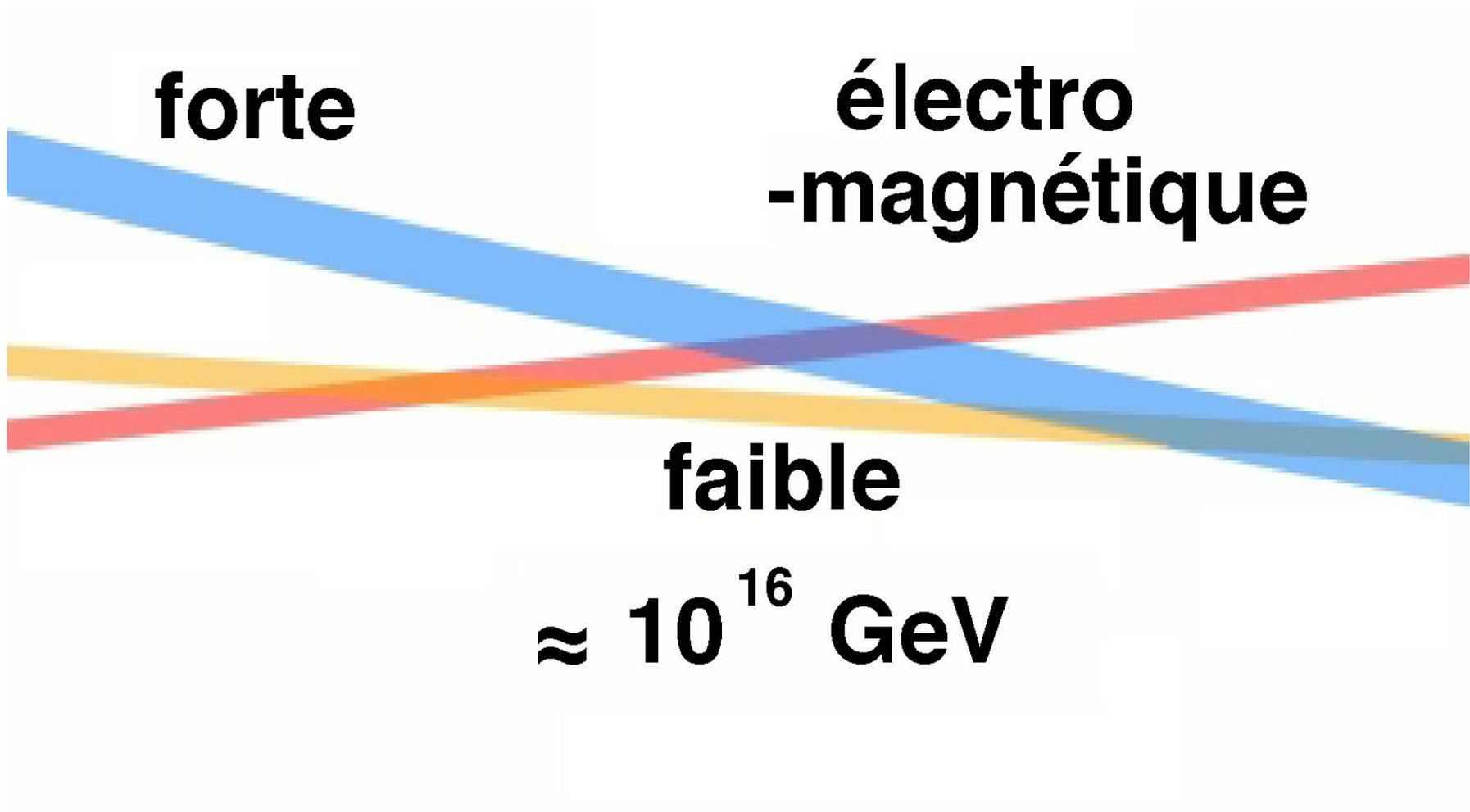


forte

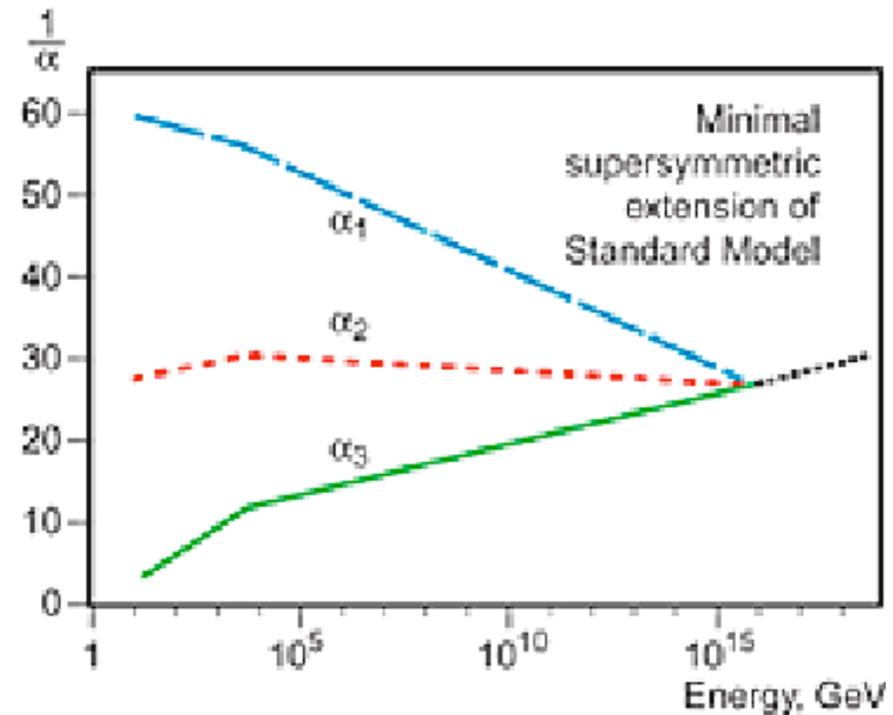
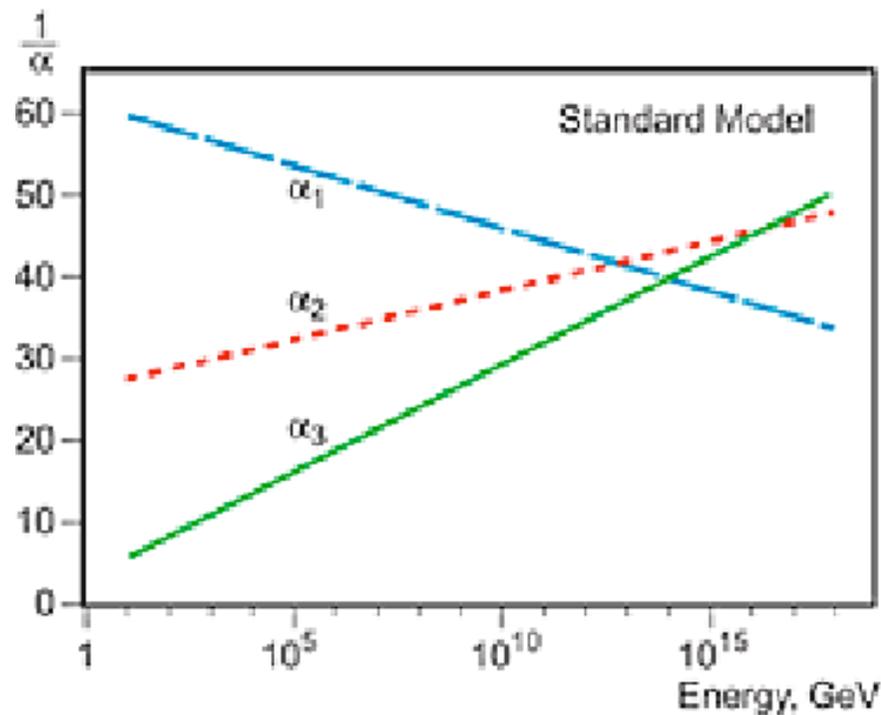
**électro
-magnétique**

faible

$\approx 10^{16}$ GeV

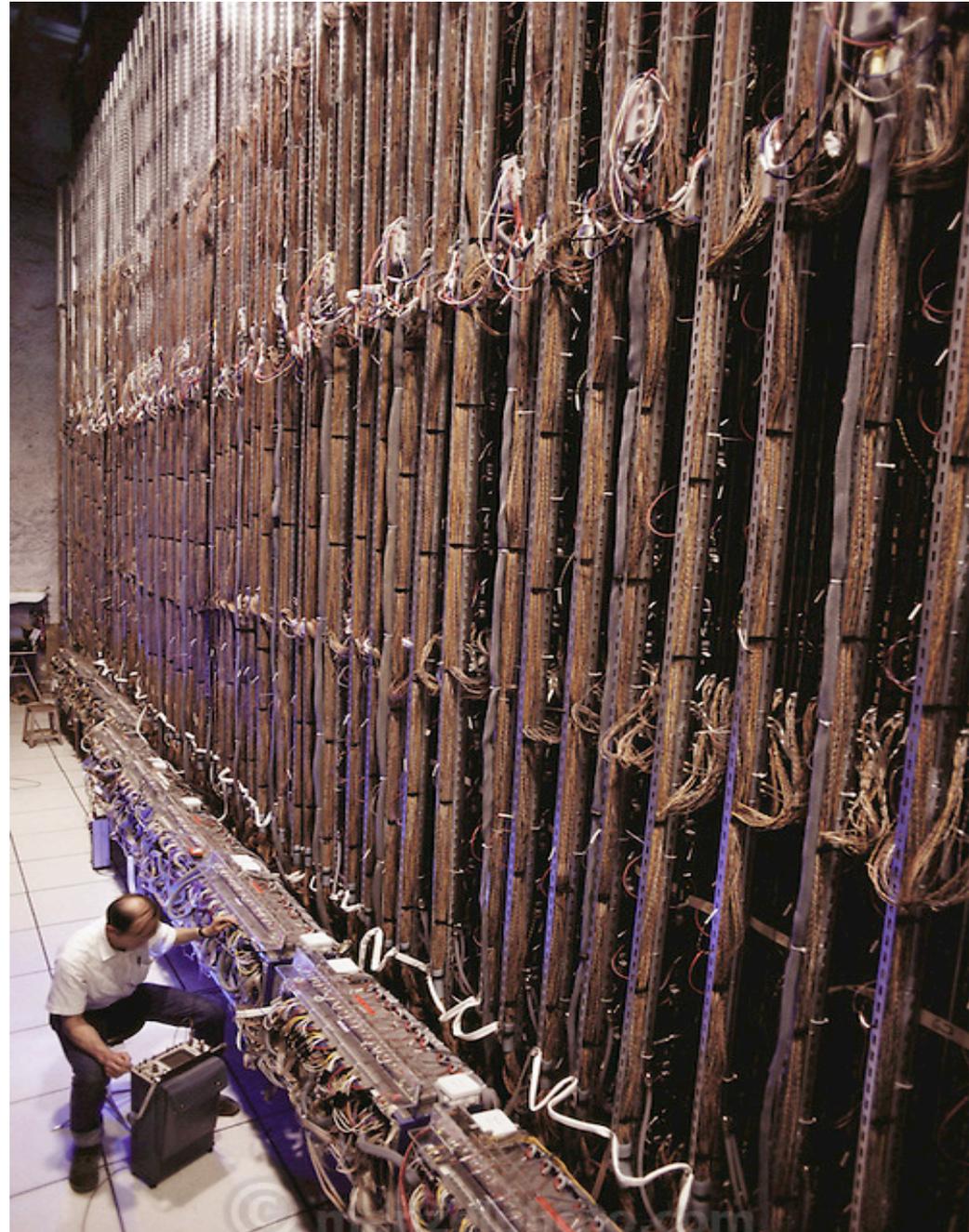


Supersymétrie améliore nettement la convergence des interactions

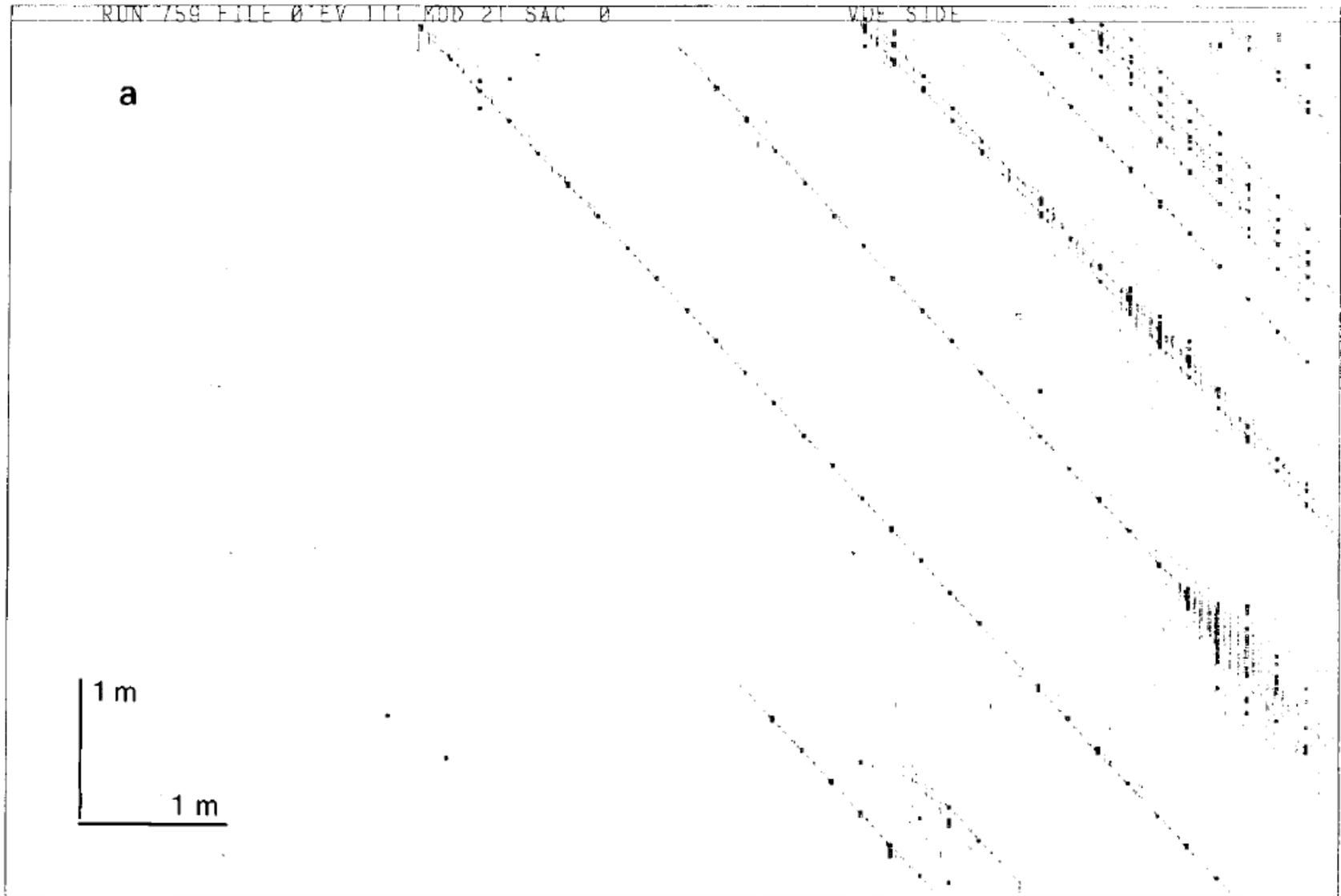


TAUP

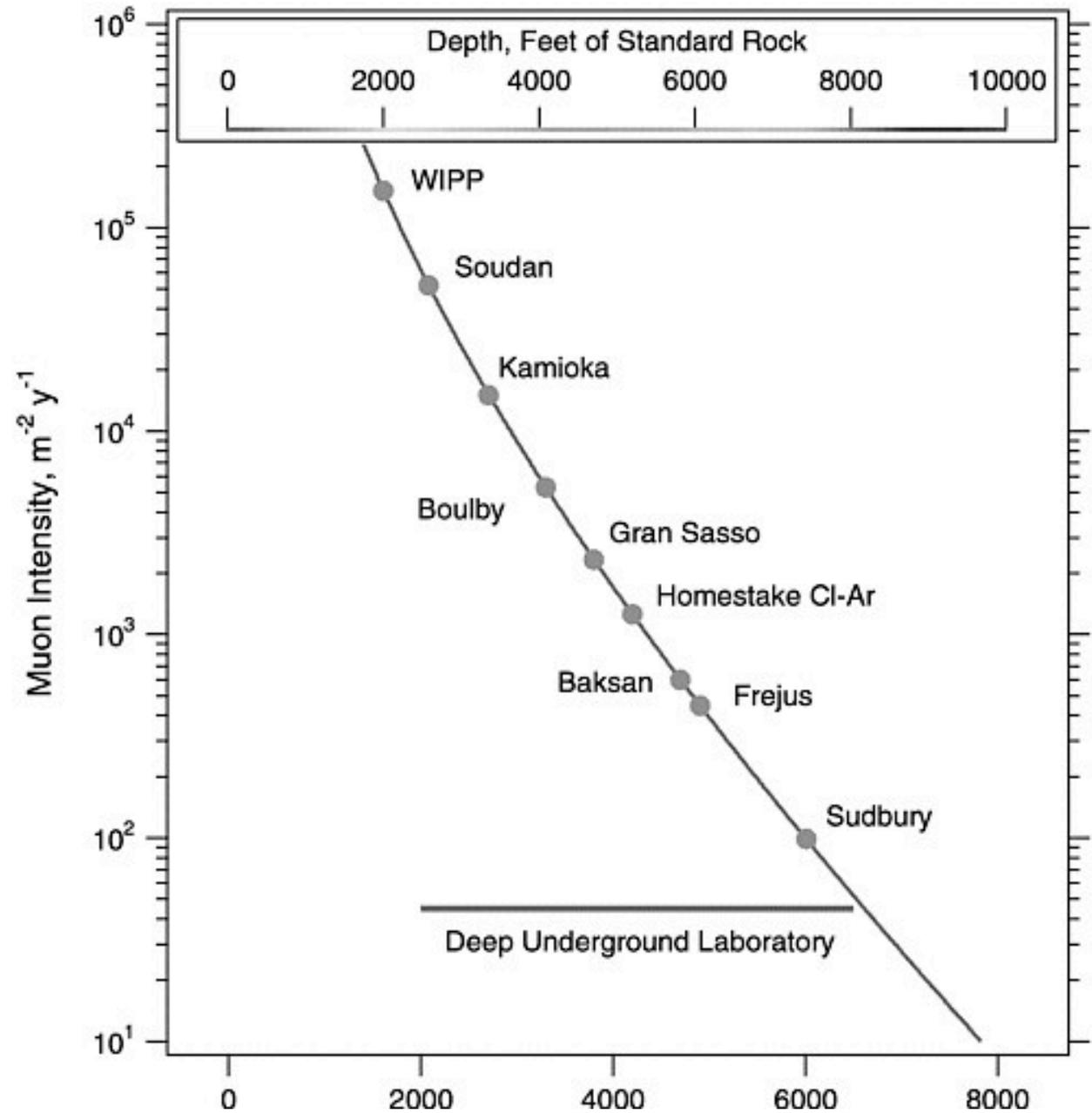
- Calorimètre à grain fin
- Flashtubes (Geiger aurait peut-être été mieux et plus uniforme)
- 936 000 canaux d'électronique flashtube
- 40 000 tubes Geiger (trigger)



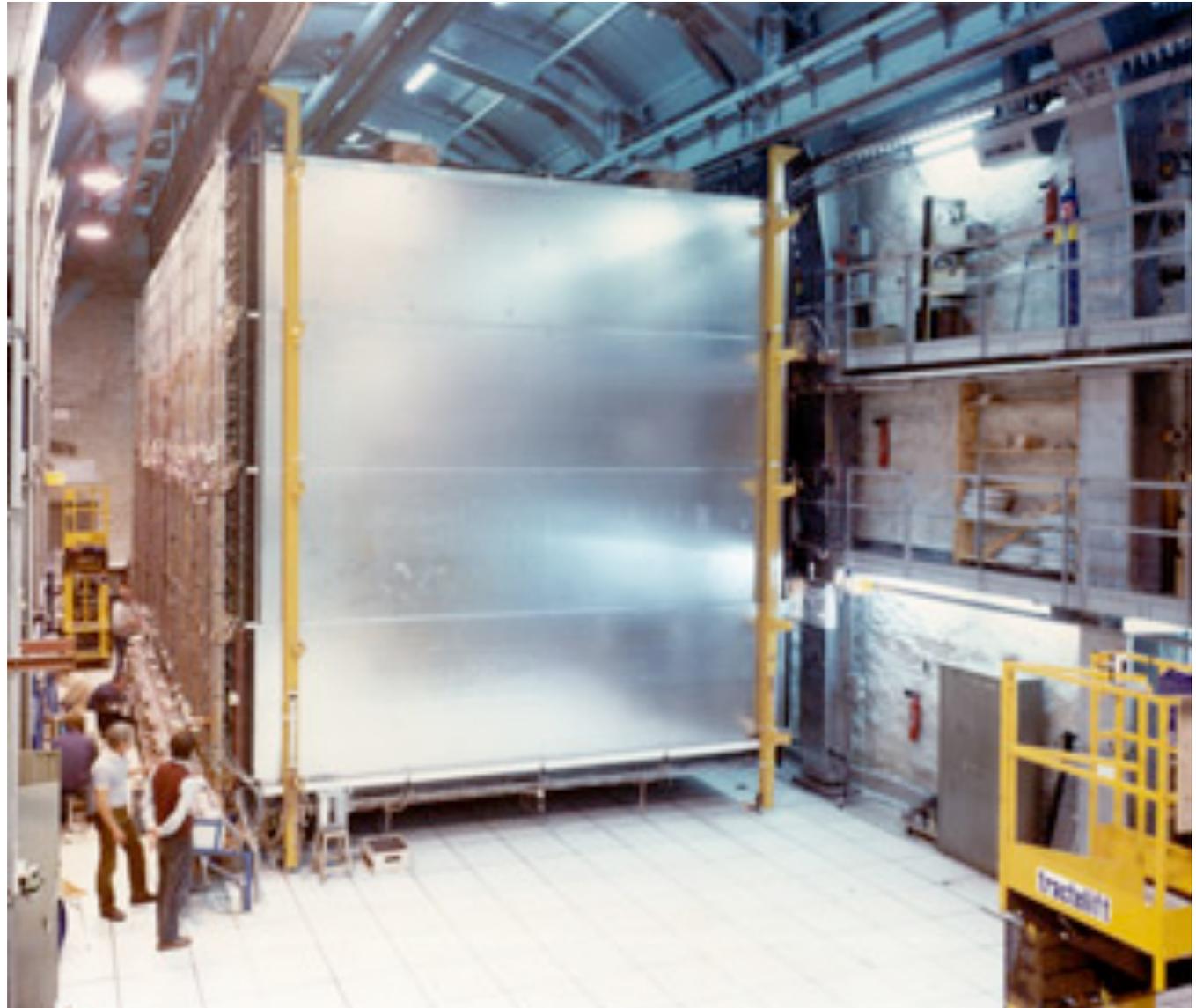
Multi-muons et composition du rayonnement cosmique



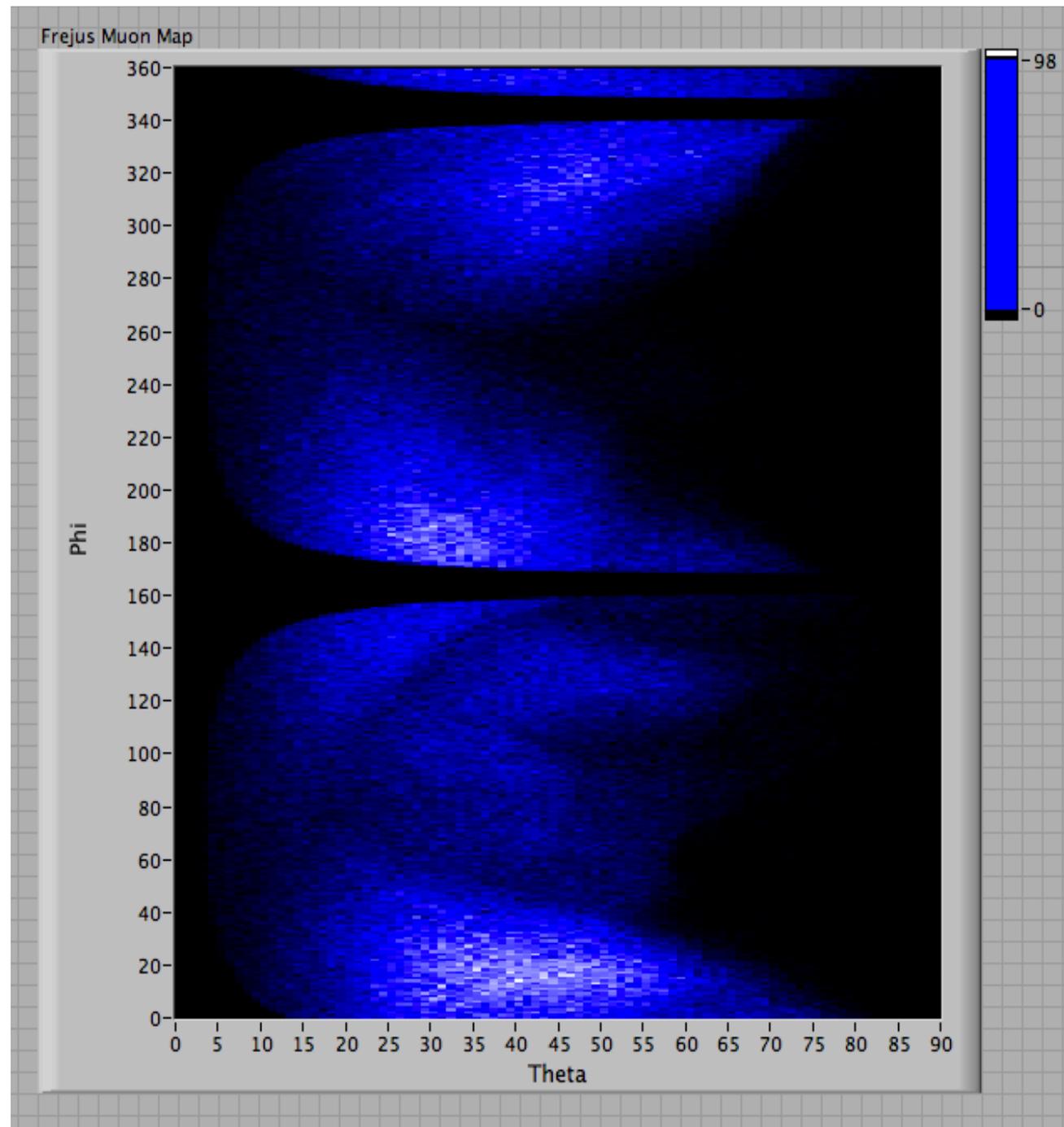
Flux de muons dans les labos souterrains



Détecteur TAUP complet (912 tonnes)



Fréjus Muon map



Intensity-depth relation

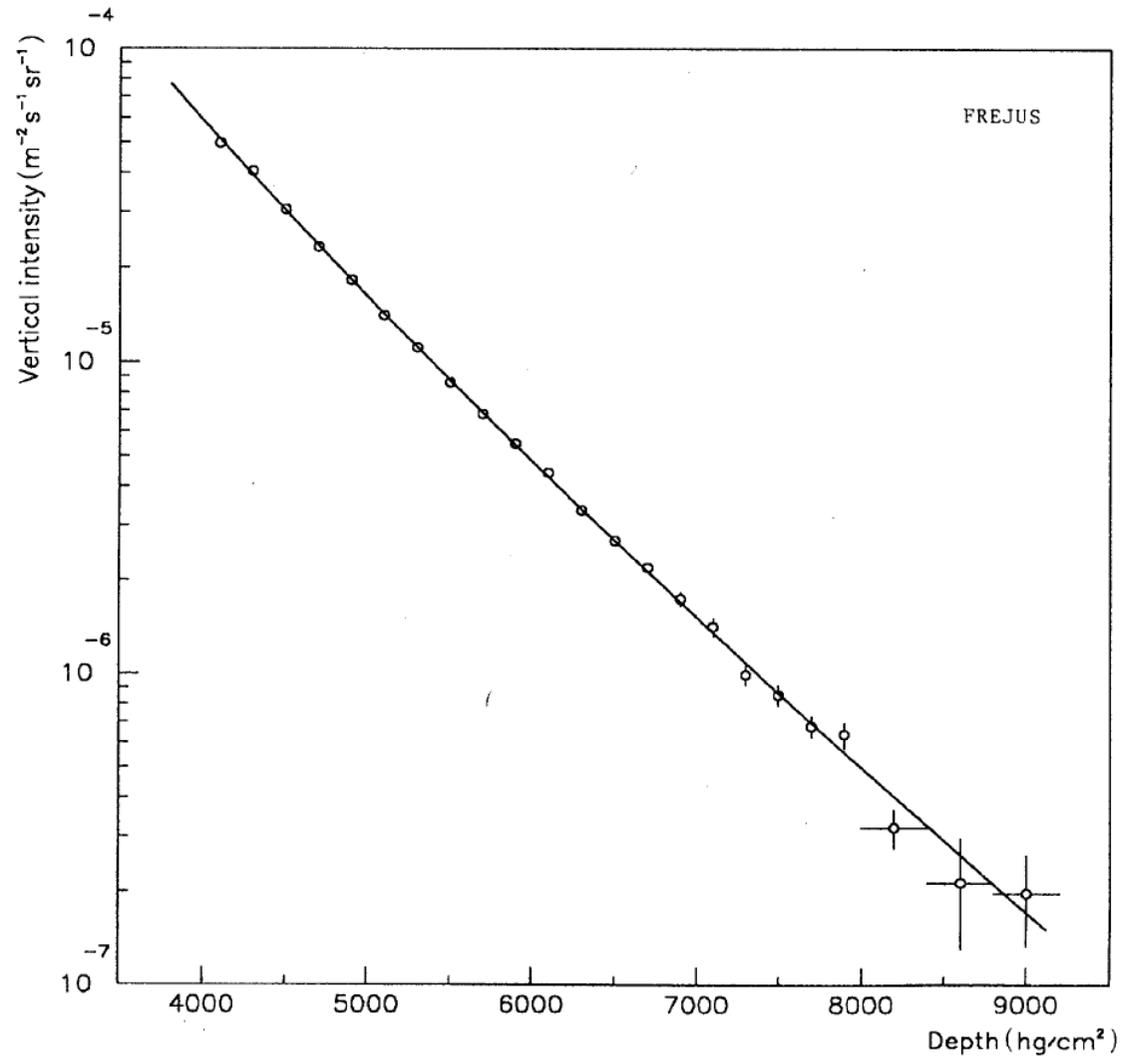
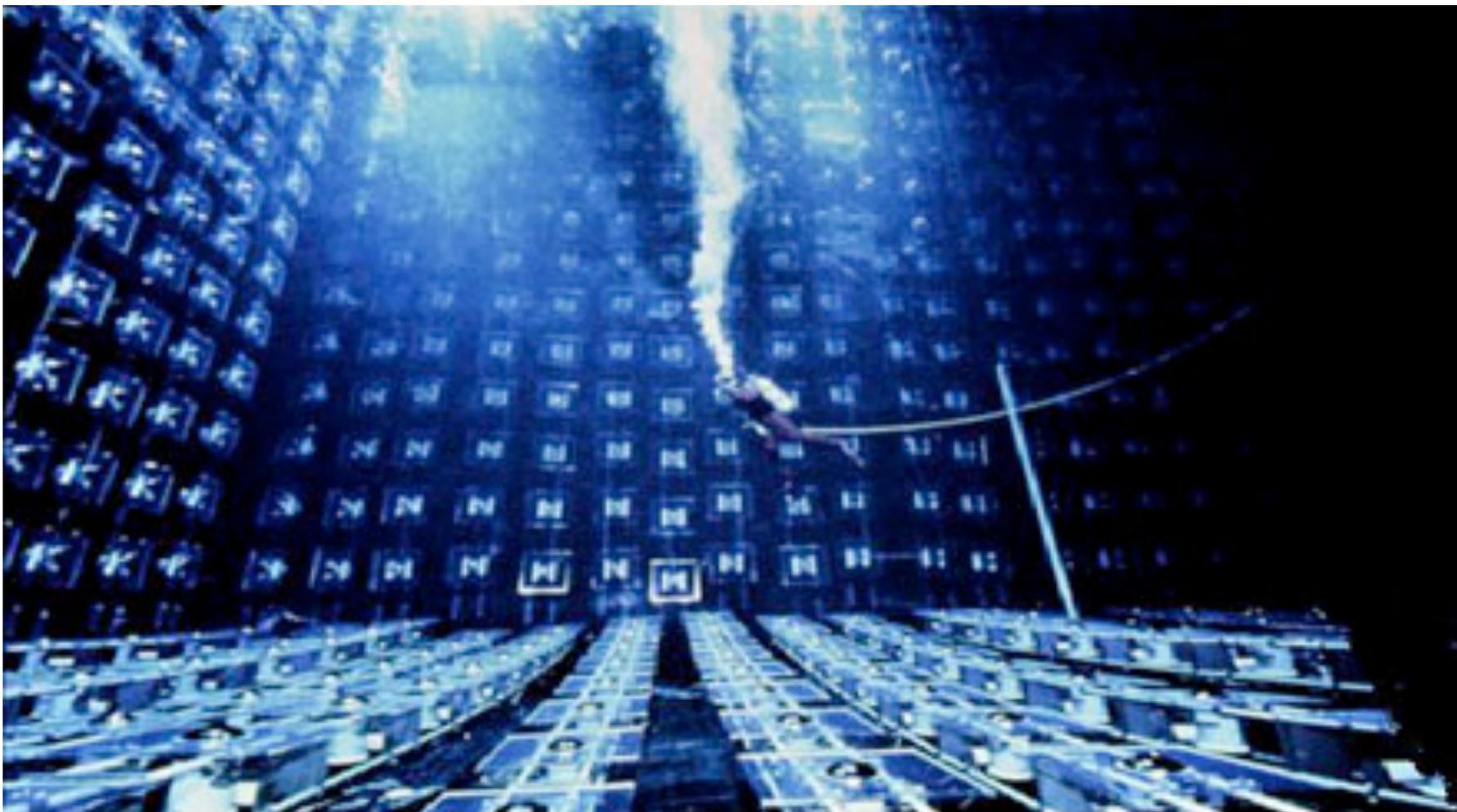
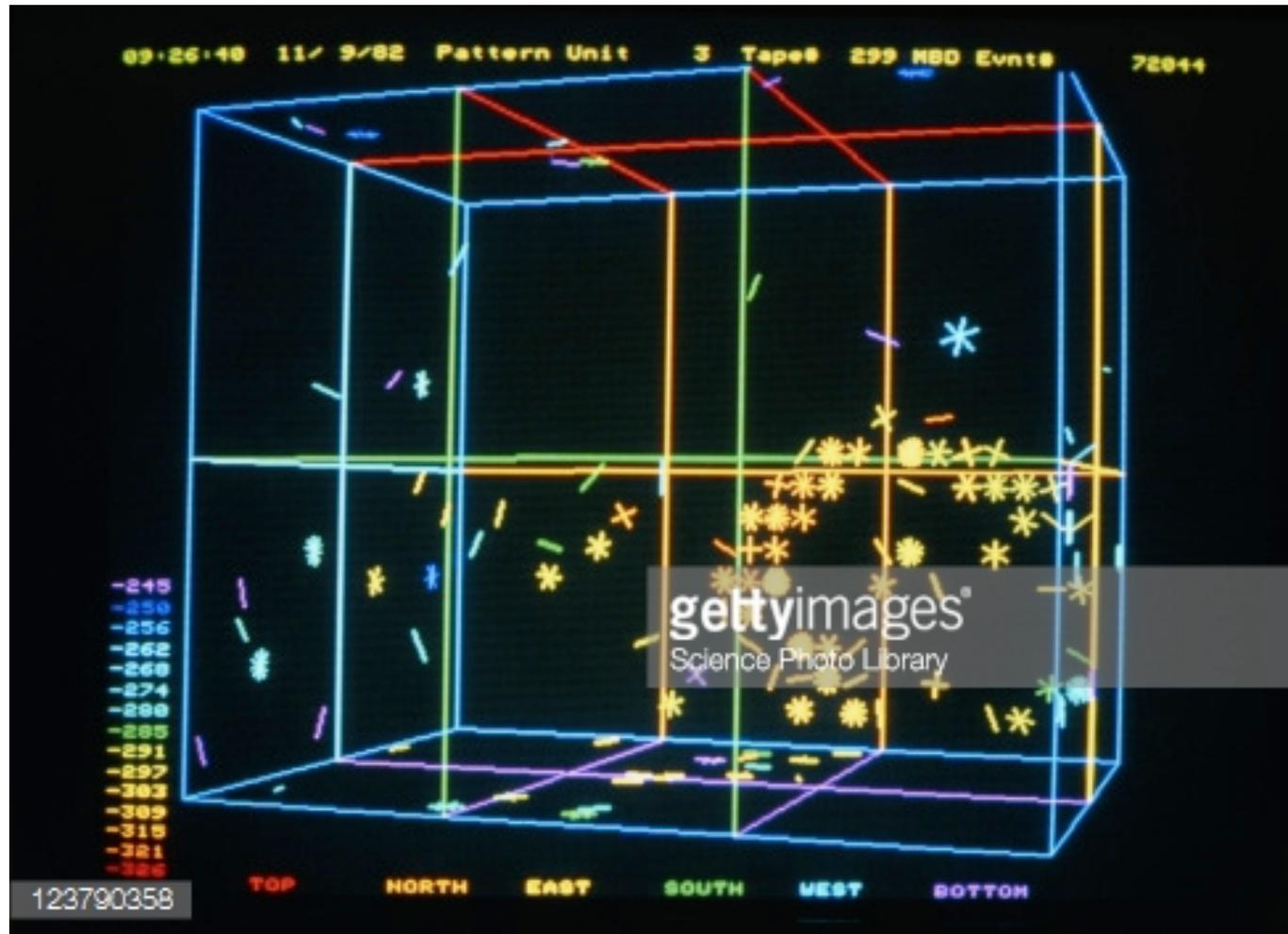


FIG. 1. Muon vertical intensity vs depth. Systematic errors in the determination of h (see text) are not shown in this figure.

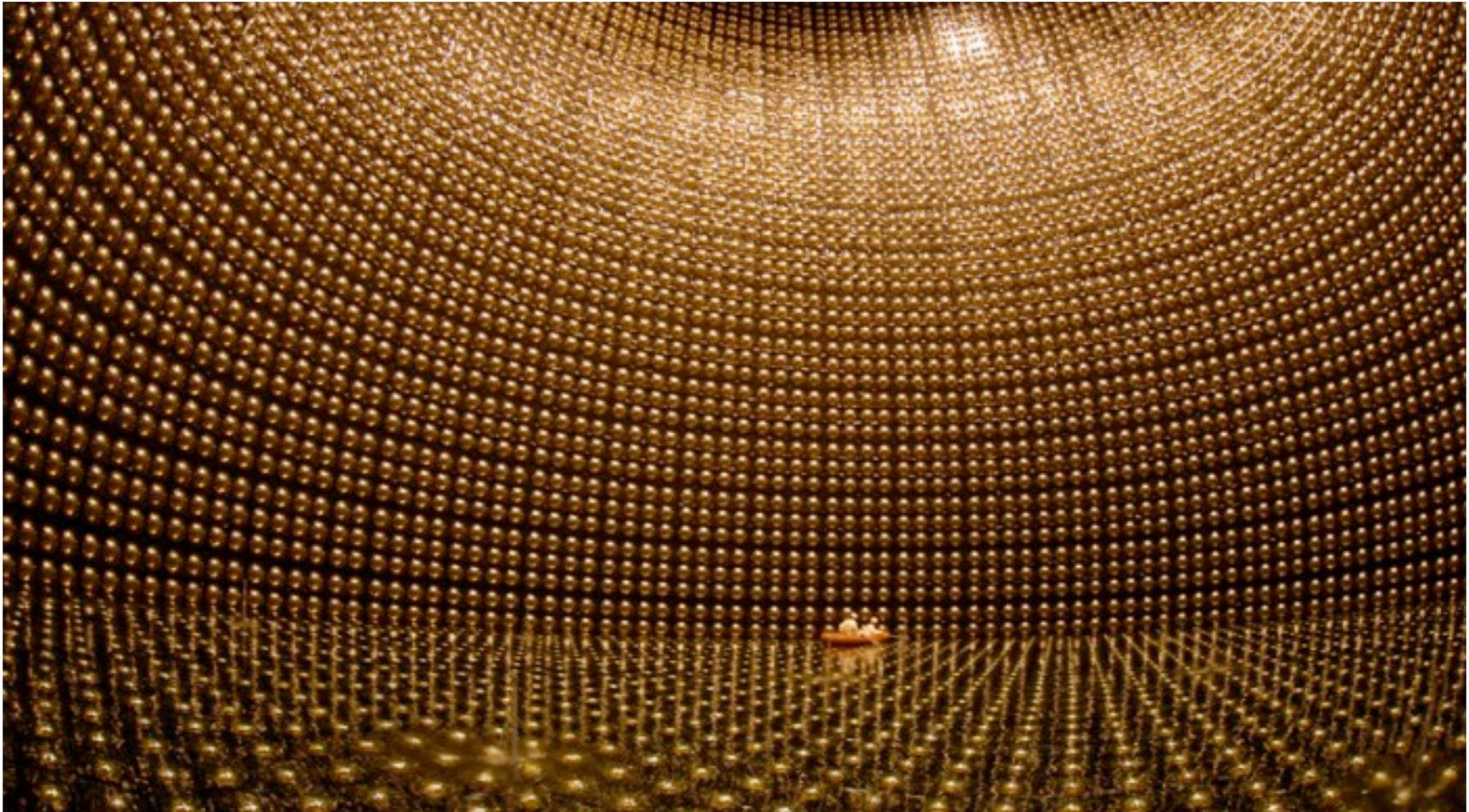
IMB



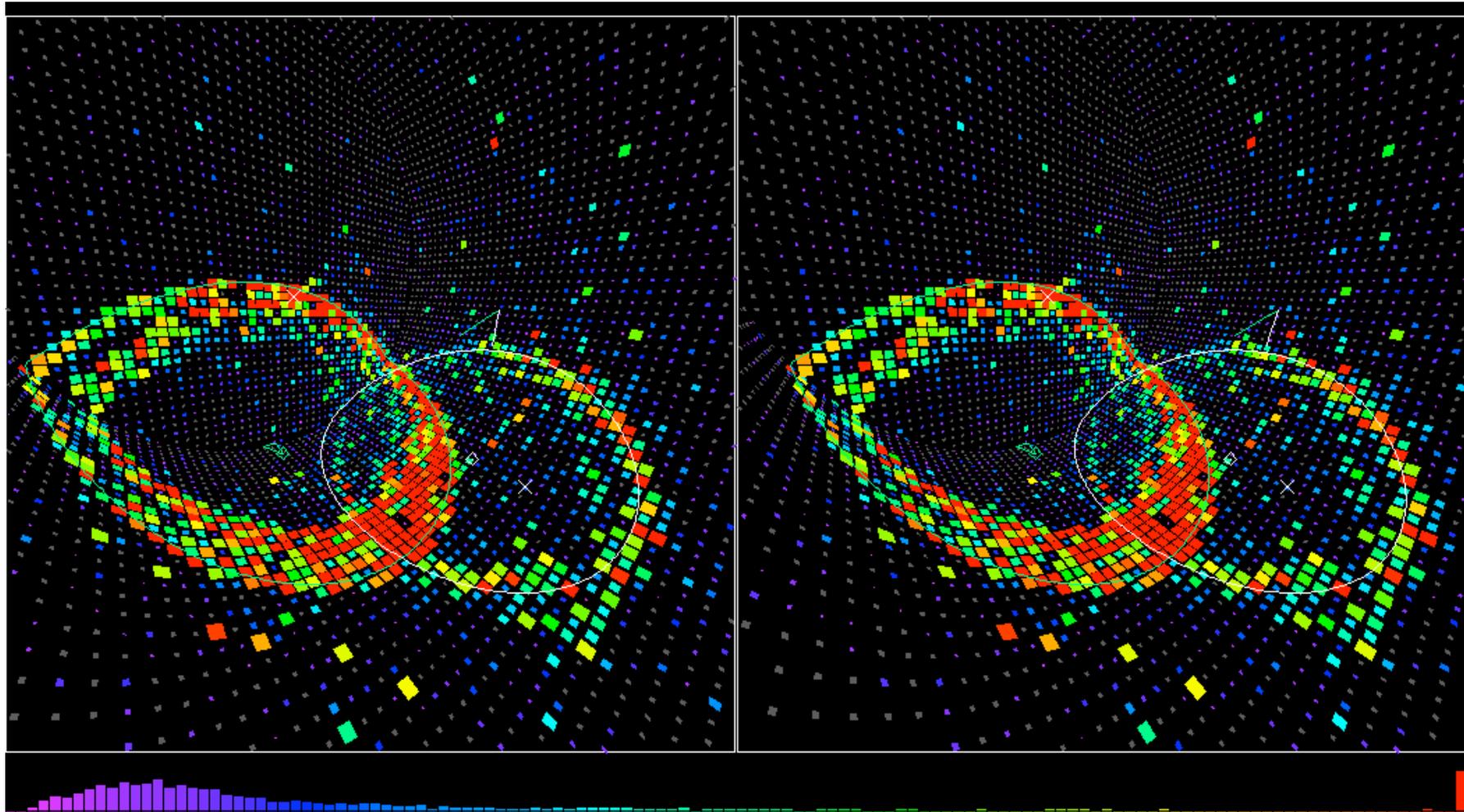
IMB



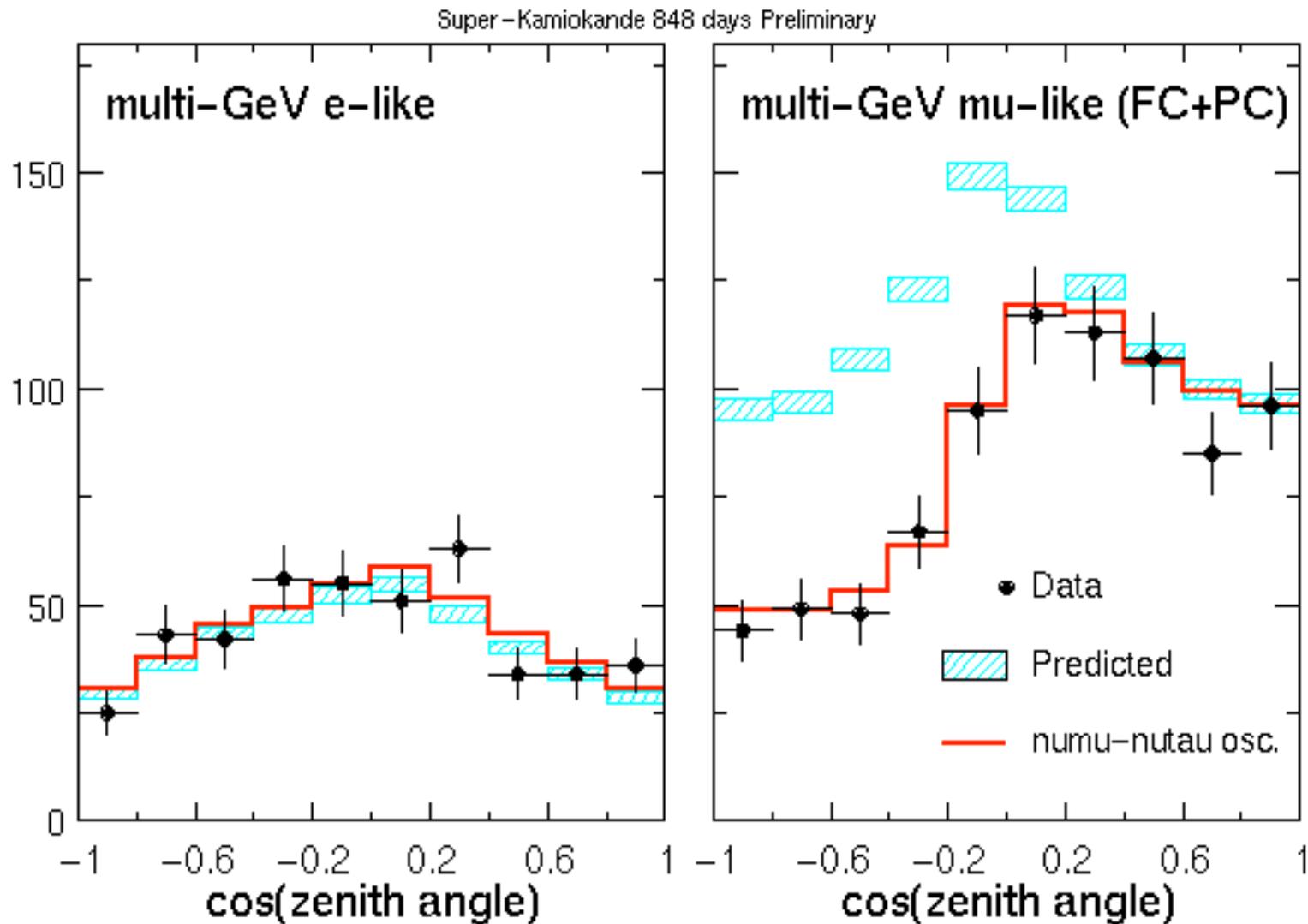
SuperKamiokande



Reconstruction multi-particules



neutrino-oscillations Super-K



Cygnus X-3

- Cygnus X-3 : système binaire à une dizaine de kiloparsecs de la Terre, période orbitale ≈ 4.8 heures, pulsar alors non détecté
- Observations par Soudan-1 et par l'expérience italienne NUSEX
- Fréjus ≈ 6 fois plus gros n'observe rien
- Pressions pour que l'on trouve « notre erreur »
- Analyse des autres observations de Cygnus X-3
- Critique générale de l'astronomie gamma HE et VHE

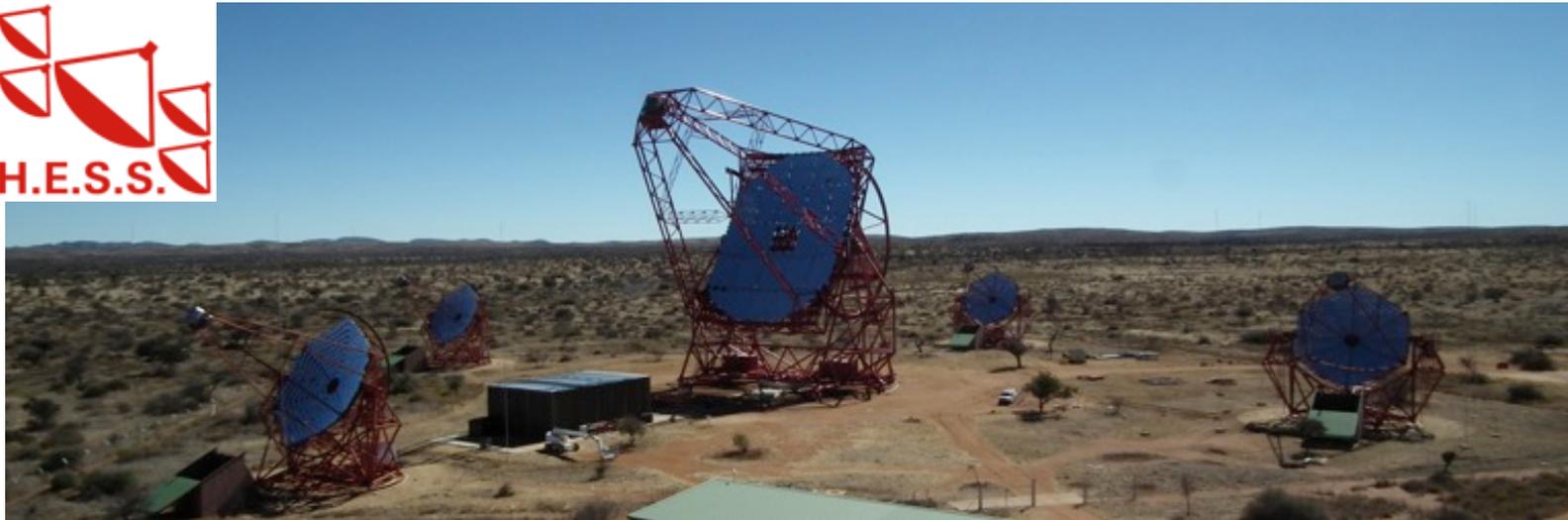
CAT et Thémistocle



CAT et Thémistocle



Astronomie gamma au sol : HESS, vers CTA



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

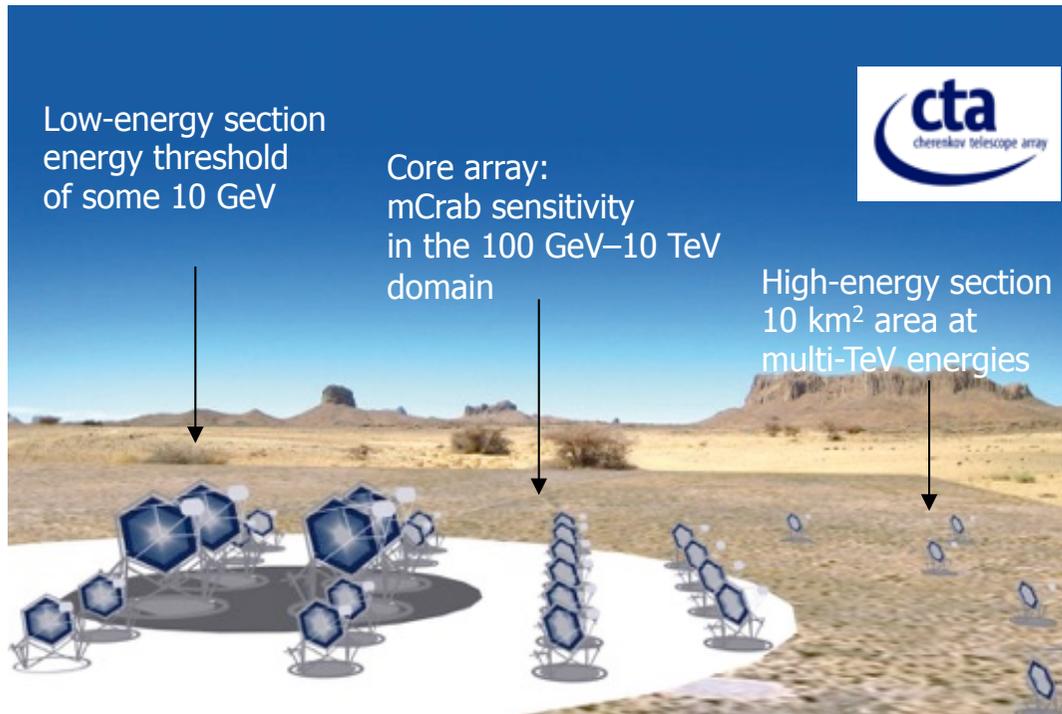
Un ensemble de quatre télescopes de 12 m de diamètre (depuis ≈ 10 ans) et

1 télescope de 28m diamètre (inauguré en septembre 2012)

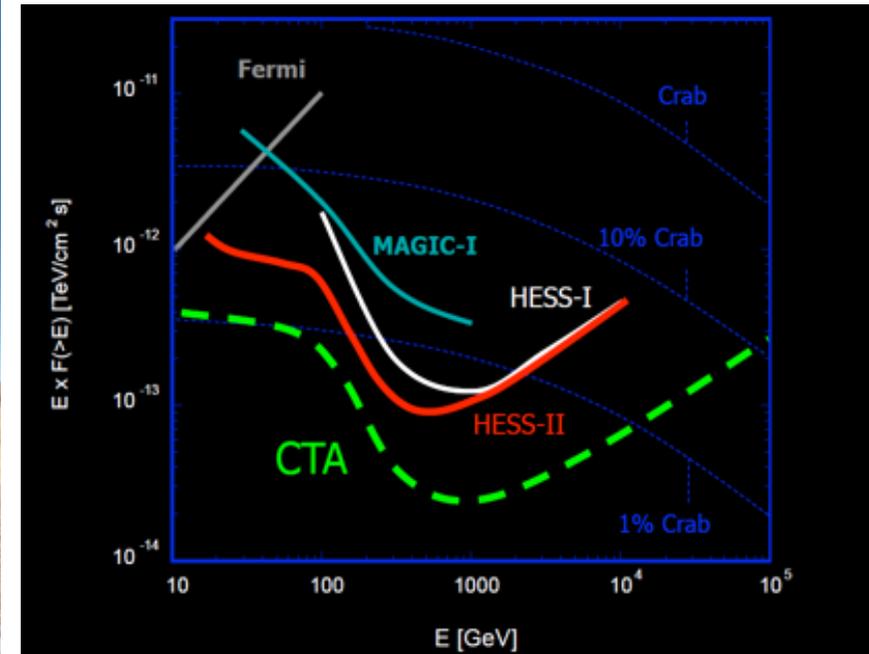
Site: Namibie (1800 m)



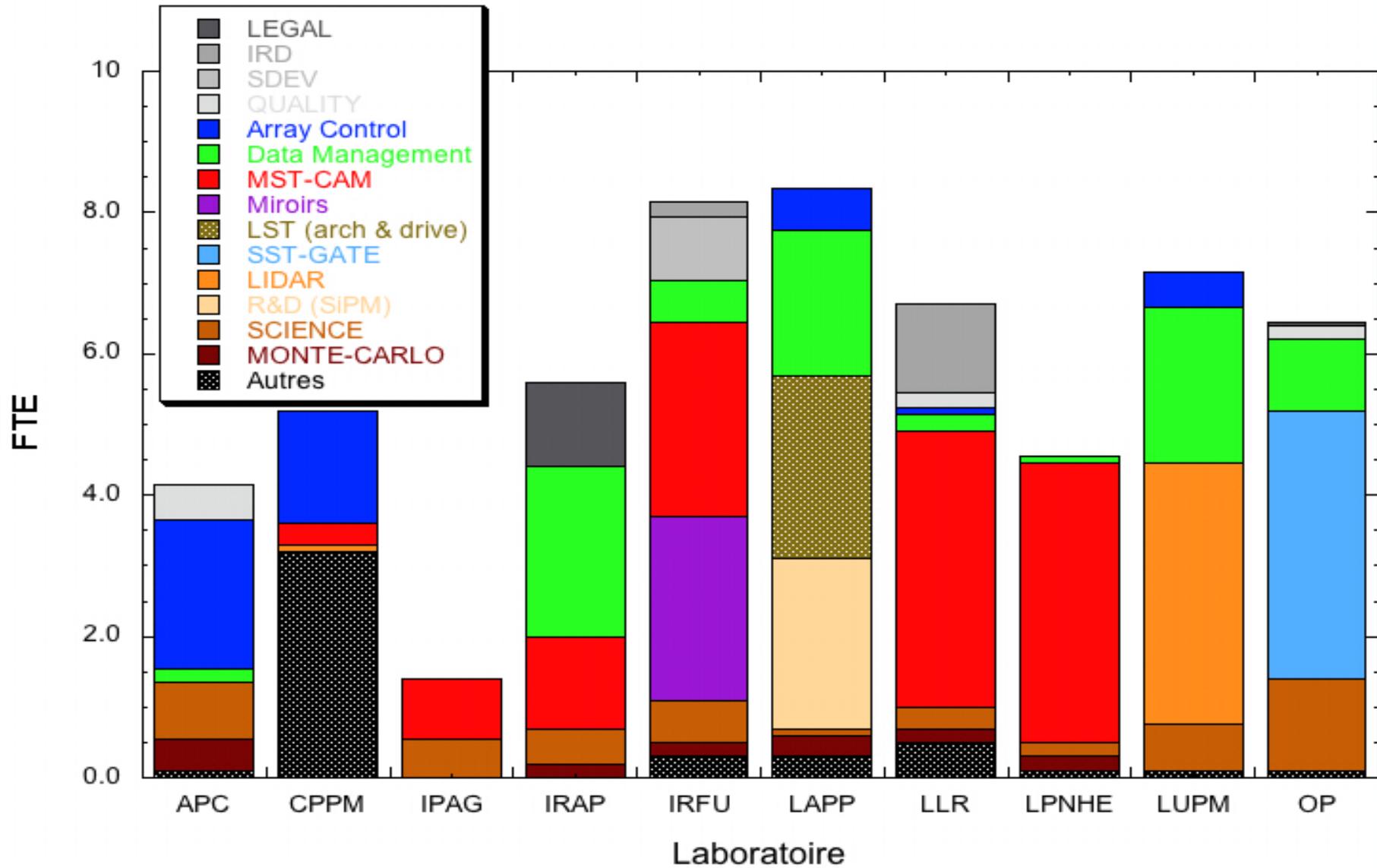
Cherenkov Telescope Array – CTA



- **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



Contributions visées par les laboratoires IN2P3, INSU et CEA

Ondes gravitationnelles

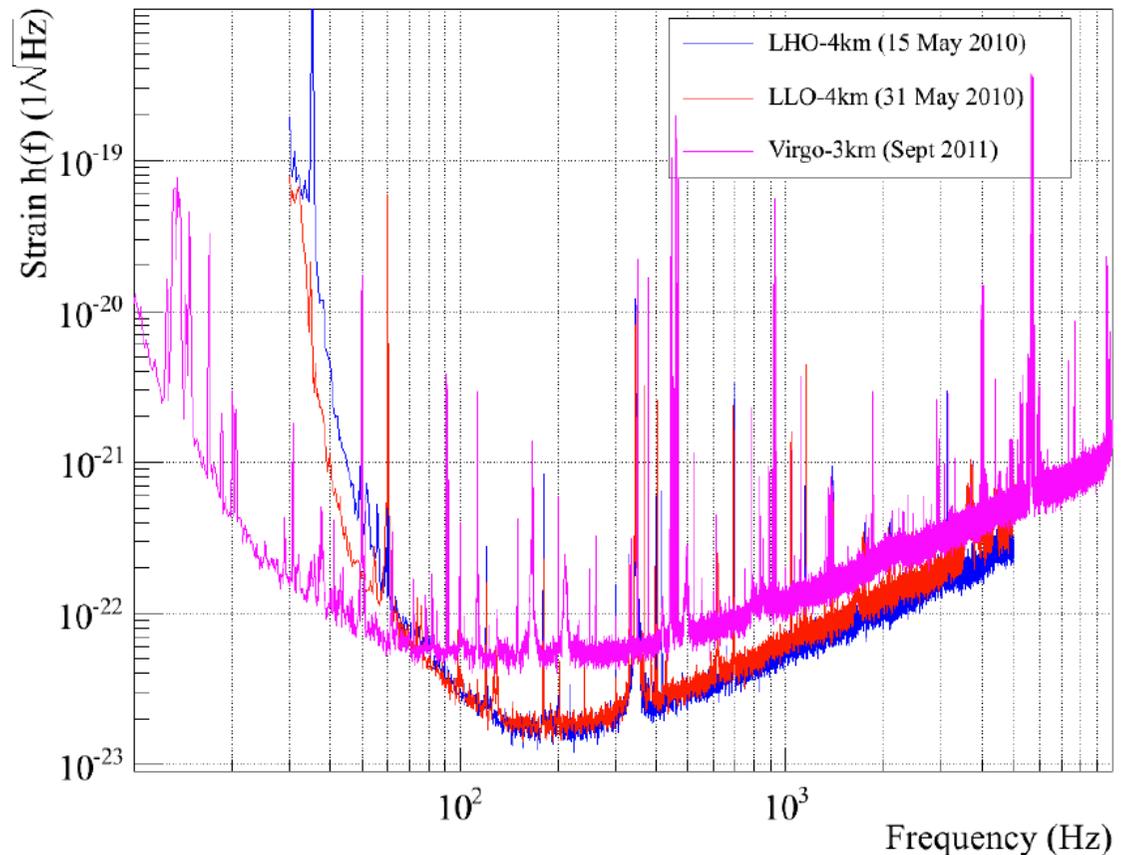
- Advanced Virgo
- Investissement CNRS (IN2P3, mais également (?) INSU, INP) depuis près de 20 ans
- Meilleur niveau mondial avec LIGO
- Consortium LIGO-VIRGO
- 65 projets ou organisations ont déjà demandé l'accès aux données d'Adv Virgo
- **Renforcement du projet, proche de la découverte**



Ondes gravitationnelles: VIRGO

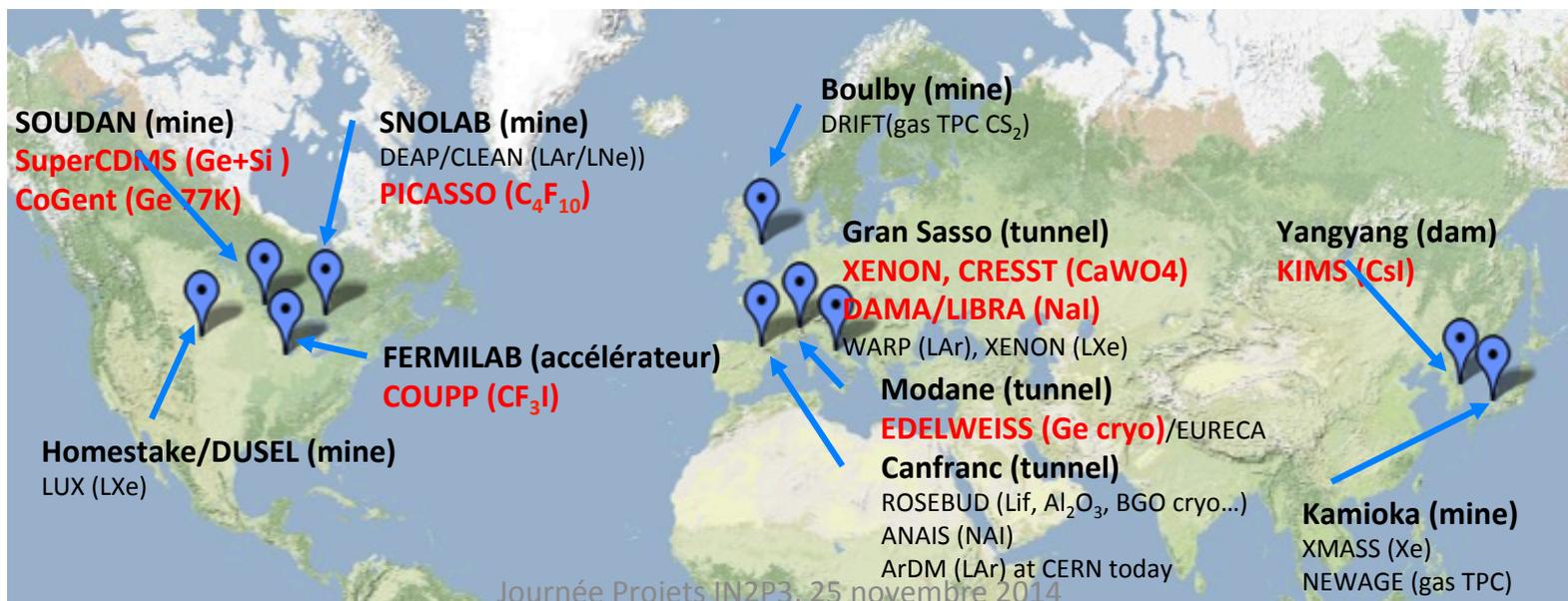
-VSR4 run : The best sensitivity ever reached by an interferometer at low frequency (see sensitivity curve below) explains a special interest to 1f studies :

- Investissement CNRS (construction très principalement IN2P3) depuis près de 20 ans
- Meilleur niveau mondial avec LIGO
- Renforcement collaboration AdV
- Soutien très fort
- **Premières détections prévues aux alentours de 2016-2018**



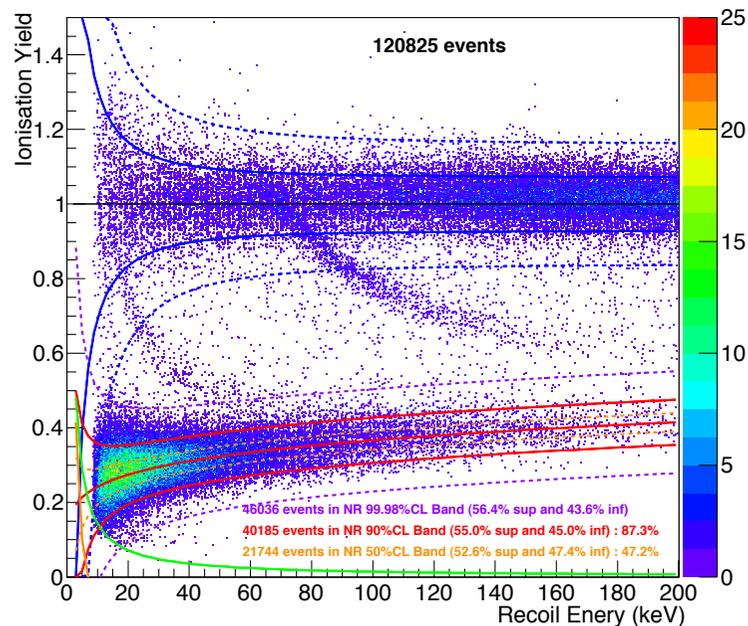
Dark Matter WIMPs: la compétition internationale...

- SuperCDMS @ Soudan Mine, @ SNOLab
- EDELWEISS-III (cryo Ge @ Fréjus)
- XENON-100 @ Gran Sasso (and XENON-1ton)
- CRESST-II (cryo CaWO_4 , ZnWO_4) @ Gran Sasso
- DarkSide, ArDM (liquid argon)
- DAMA/LIBRA (NaI, Xe) @ Gran Sasso
- SIMPLE, MACHe3, ORPHEUS (Bern)
- XMASS @ Japan
- Future experiments: XENON-nton, GEODM, EURECA, LZ (LUX-ZEPLIN)



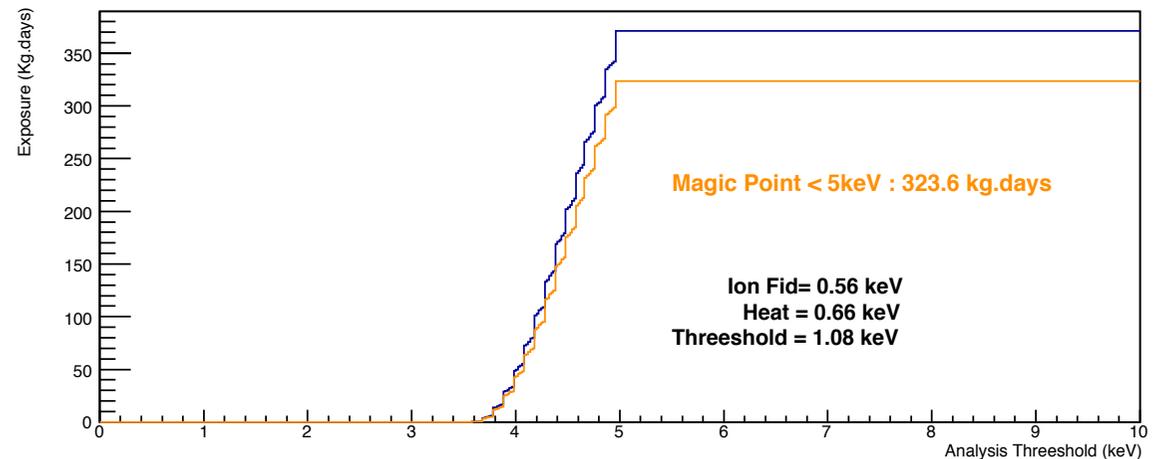
EDELWEISS-III : Situation 2014

- Installation des 36 détecteurs FID800
- **Run recherche de WIMPs lancé en Juillet 2014**
- **500 kg.jour sur disque pour Wimps « standard » (>10GeV)**
 - résolution moyenne FWHM 600eV ionisation, 1keV chaleur, seuil 1.7keV
- **330 kg.jour pour les basses masses (< 10GeV)**
 - résolution moyenne FWHM 550eV ionisation, 650eV chaleur, seuil 1.1keV



Calibration Neutron (ensemble des détecteurs)

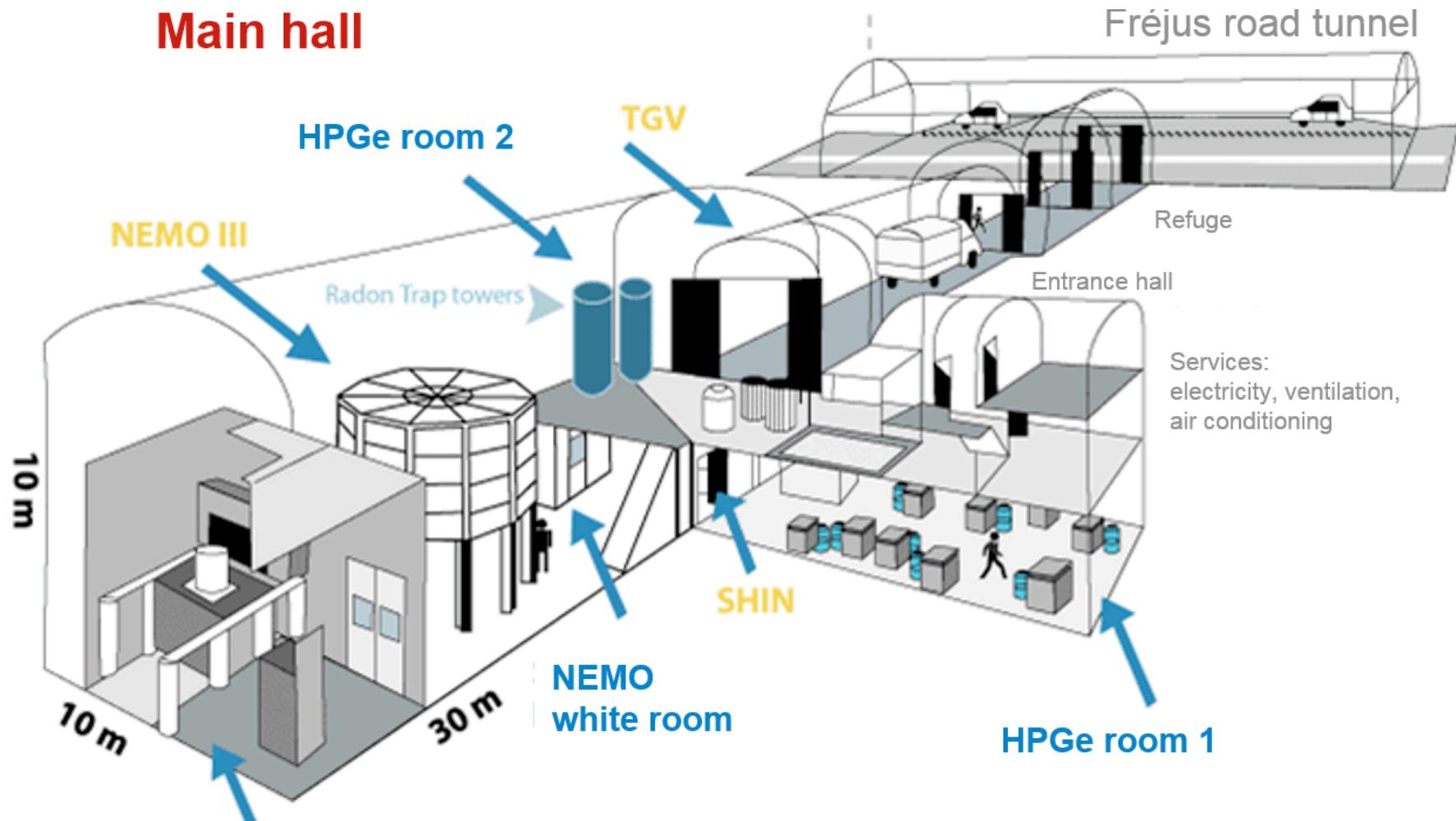
Nov 2014

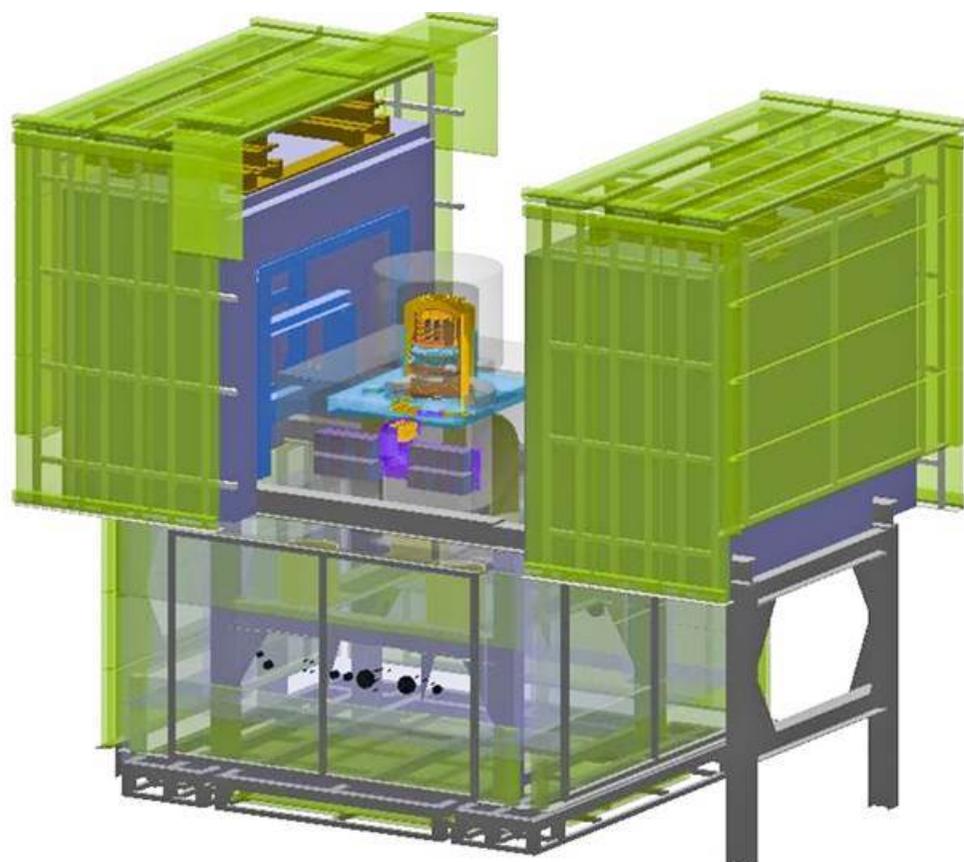


Exposition Totale au 19/11/2014 pour l'analyse basse Masse

EDELWEISS

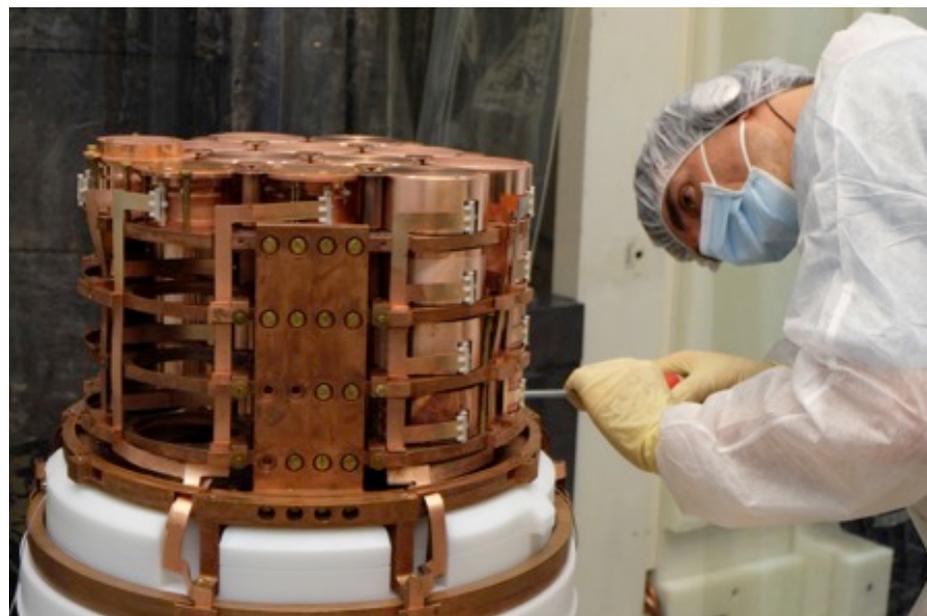
Le LSM post-TAUP





EDWIII Geant4 model

Nov 2014



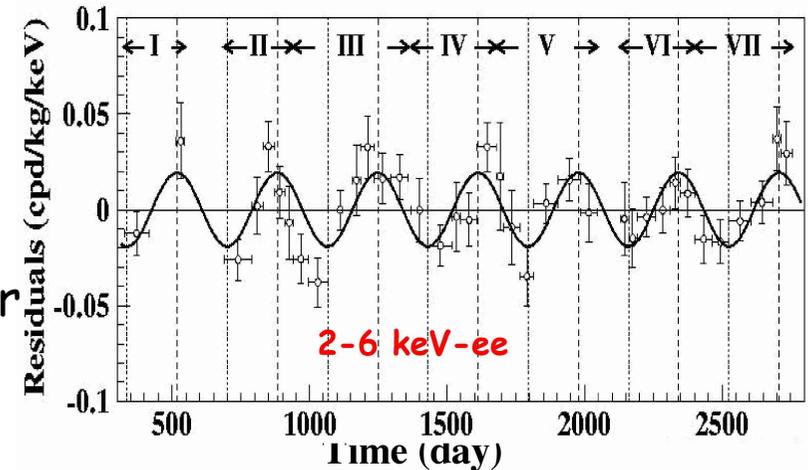
Installation of the 36 FID800 detectors at LSM



EDELWEISS

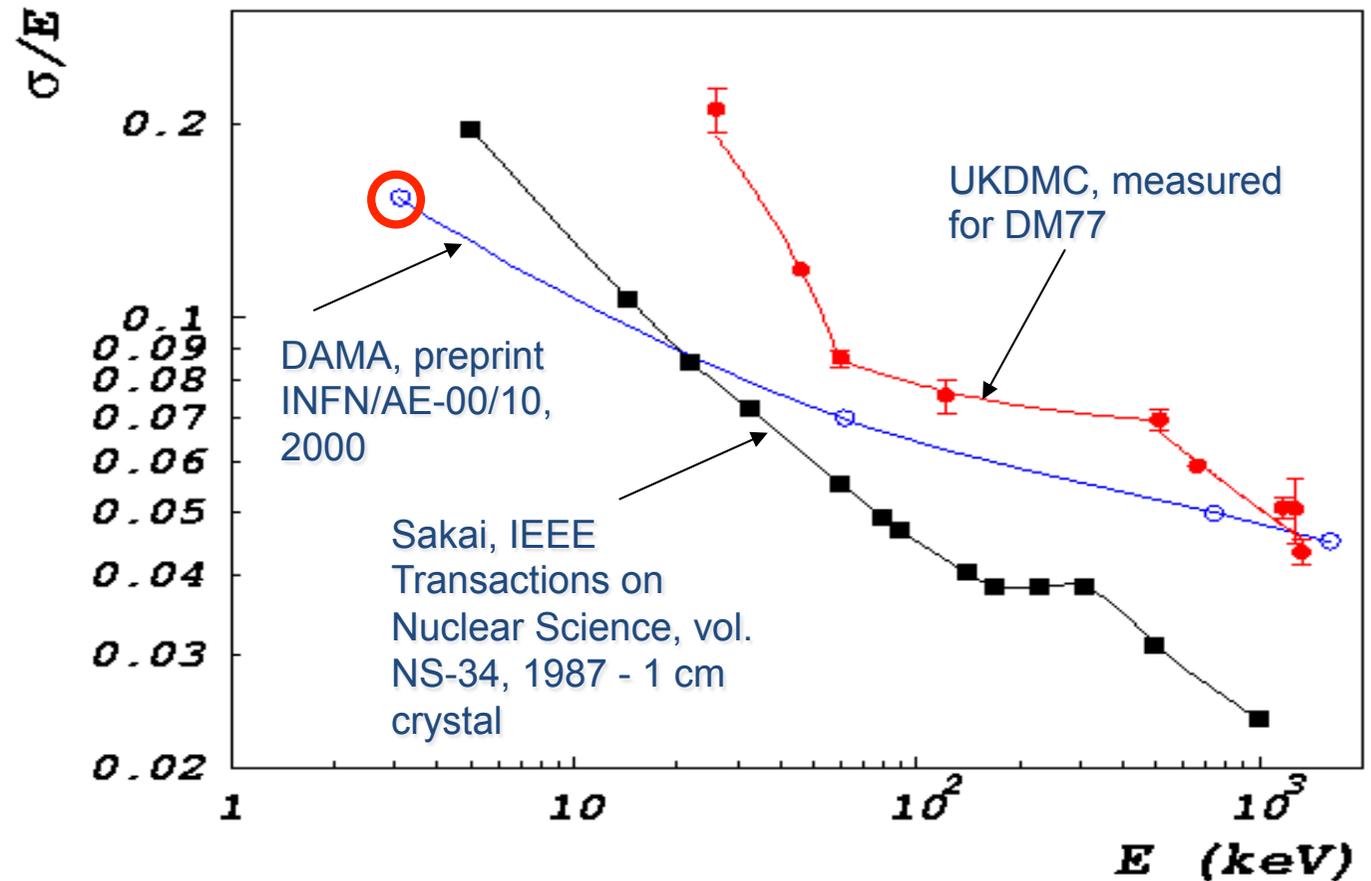
A first WIMP candidate: DAMA

- Data taking completed in July 2002
- Total exposure of 107,731 kg.d
- See annual modulation at 6.3s
- Claim model-independent evidence for WIMPs in the galactic halo



- WIMP candidate under standard halo parameters:
 $M_c = (52^{+10}) \text{ GeV}$ and $s_{c-N} = (7.2^{+0.4}) \cdot 10^{-6} \text{ pb}$
- **Rather opaque analysis** (raw spectrum, cuts, **calibration**)
- Nevertheless, checking this result remains important
- 2nd phase 250 kg LIBRA running...

DAMA Energy Resolution

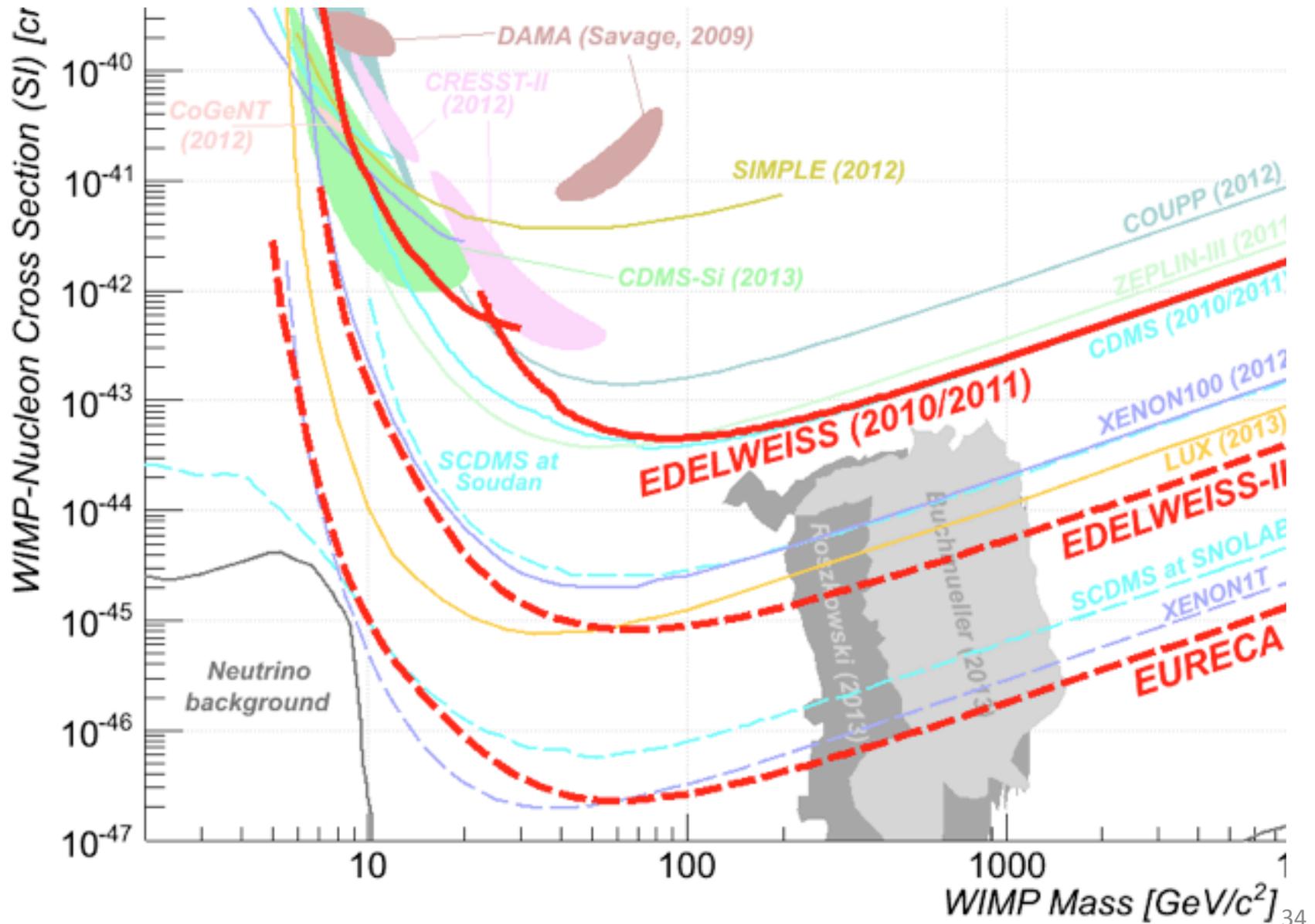


“DAMA energy resolution at low energies is better than the resolution measured for much smaller crystals and **better than poissonian limit** with a light yield of 10 photoelectrons per keV” (UKDMC, Robinson et al. 2002)

Note: DAMA measures ≤ 6 photoelectrons/keV (visible energy)

Dark Matter Direct Detection: EDELWEISS-III (vs. LUX)

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



(Courtesy)

Dark Energy

- Après DELPHI, R. Pain part pour quelques années à Berkeley dans le programme SCP (Supernovae Cosmology Project)
- Article historique S. Perlmutter et al. sur la découverte d'une gravité répulsive : plus de 8500 citations ; véritable confirmation par analyse SNLS Astier et al., 1700 citations

Cosmologie

- SNLS, SNF: après participation forte à SCP, SNLS : véritable confirmation de l'existence de « l'énergie noire », très haute visibilité équipes françaises (SNLS, SNF, BOSS, ...)
- EUCLID: mission M2 approuvée par l'ESA, participation de l'IN2P3 dans test et intégration détecteurs IR et traitement des données
- LSST: programme majeur d'observation au sol à dominante US (site au Chili), France « 51^e état »
- Contributions instrumentales fortes à caméra et calcul)

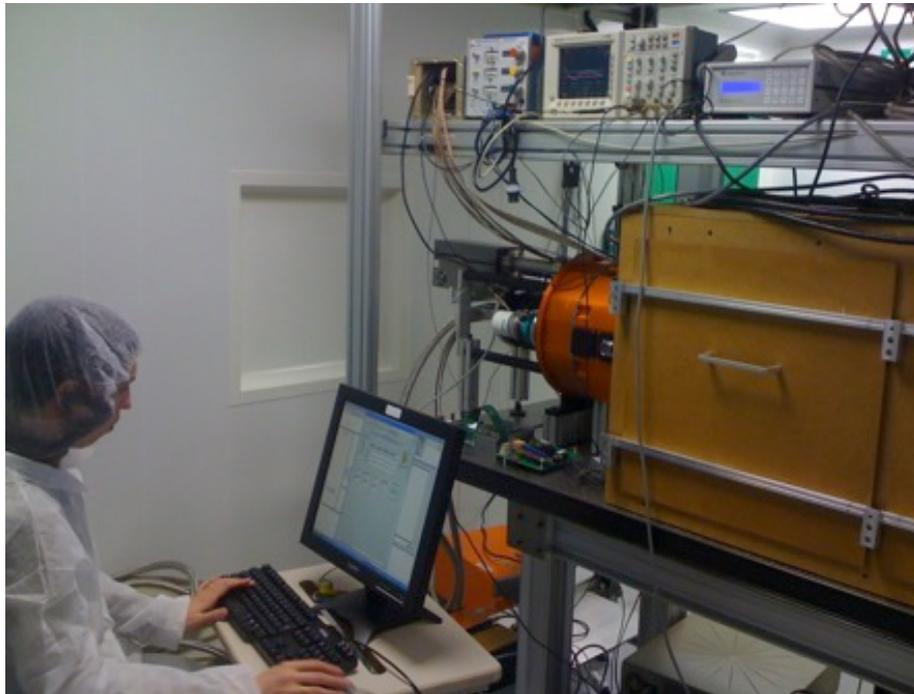
2011 Nobel Prize et 2015 Breakthrough Prize in Physics



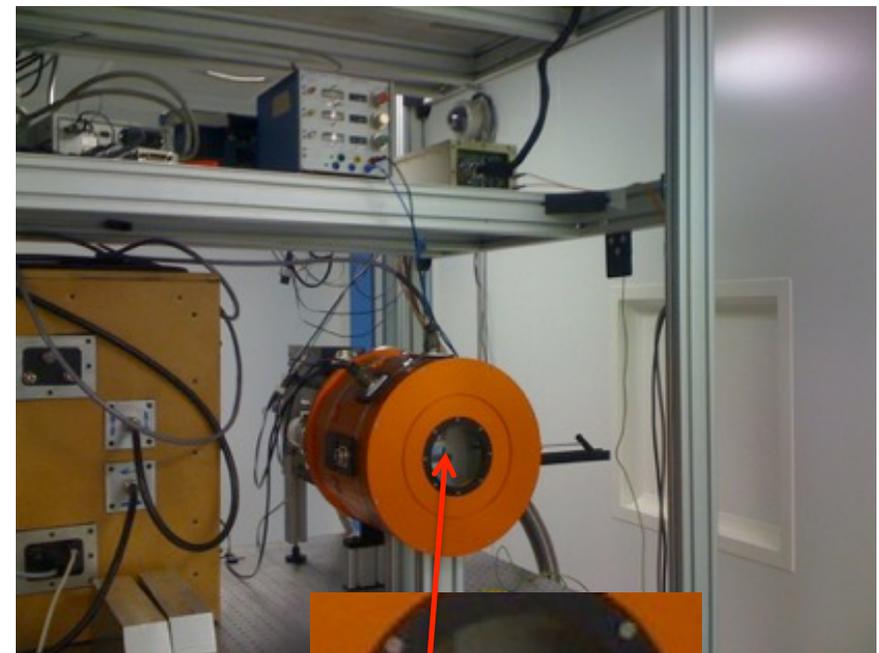
Physicists Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, and Adam Riess will be splitting a prize of \$3 million with the 51 additional researchers who helped make the discovery.

Contribution à la caméra LSST

- CCD R&D , characterization & production tests
 - Contribution to the CCD R&D effort (2009-2011 : contribution for 340 k\$ of contracts with e2v)
 - CCD characterization facility in Paris for CCD readout & prototype tests + capacity to qualify a fraction ($>\sim 25\%$) of the future CCD production.



CCD e2v 217 pre-proto readout with an ASPIC II and LSST ADC's in the Paris ccd characterization facility



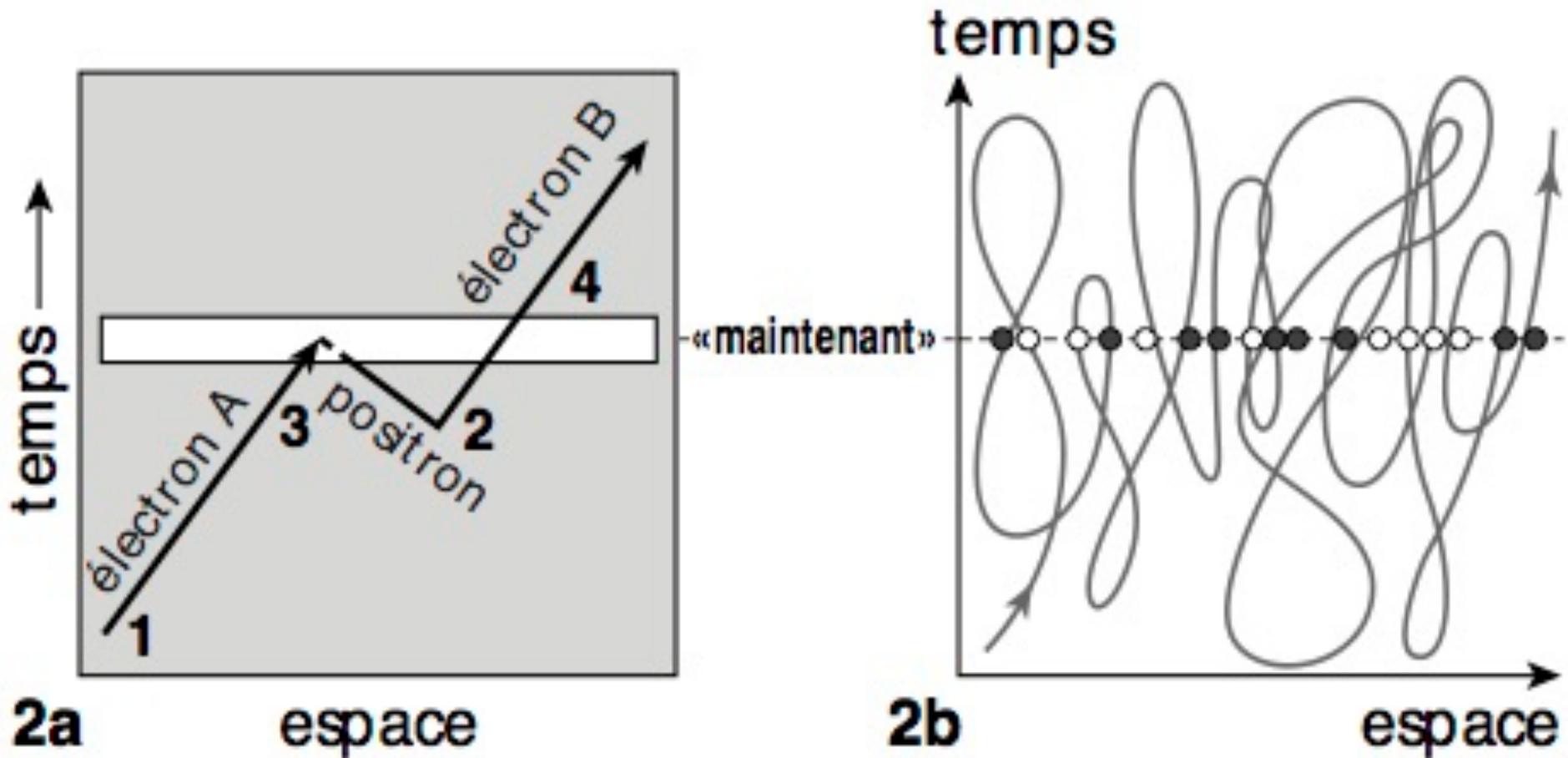
e2v 217-10



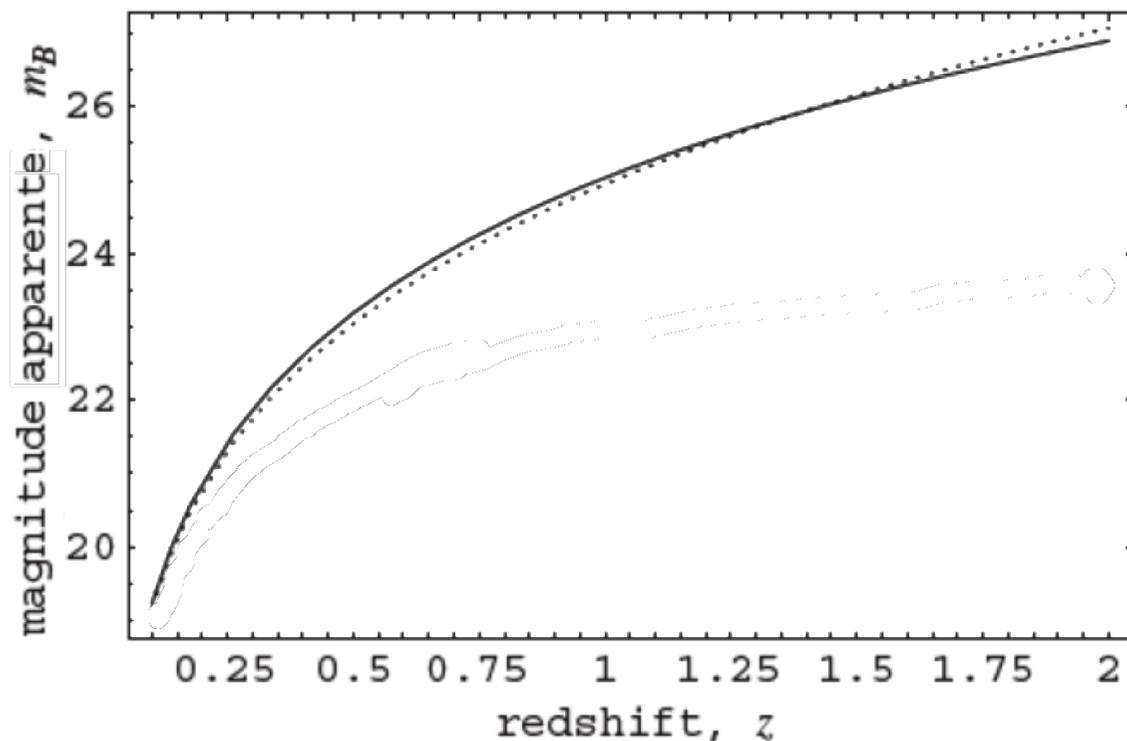
IN2P3 : Journée Projets Nov 2014

- Irruption de la cosmologie de précision, composition et équation d'état de notre Univers (SNLS, Planck, BOSS, ...)
- Matière noire et énergie noire : de la détection directe vers EUCLID et LSST
- EDELWEISS-III jusqu'à fin 2016, puis arrêt ?
Un pied dans XENON1ton...
- Astronomie gamma : très forte visibilité dans FERMI et H.E.S.S., vers une participation à CTA
- CMB : au delà du succès de Planck, QuBIC et participation à éventuelle mission M4 CoRE+ ?
- Ondes gravitationnelles : détection via Advanced Virgo, nouveau modèle international au-delà de 2020
- Neutrinos : recentrage probable vers une problématique de physique des neutrinos (hiérarchie de masse) pour KM3, vers programme LBNX et petite participation à JUNO, T2K autant que possible et utile

Antimatière et solutions énergie négative



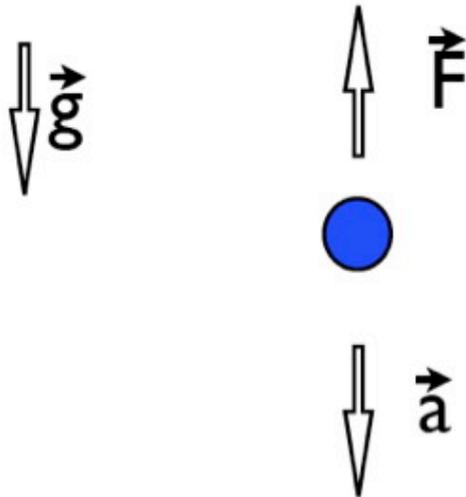
Distance de luminosité des SN1a



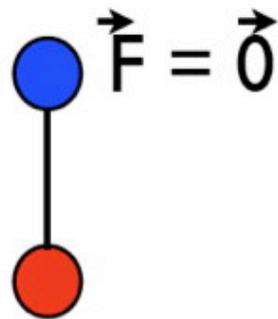
- Magnitude apparente d'une supernova en fonction de la distance mesurée par le redshift (décalage vers le rouge) comparée pour
- le modèle standard cosmologique (densité de matière 28%, densité d'énergie noire 72%, ligne continue)
 - et l'univers « vide » de Dirac-Milne (ligne pointillée)

Relativité générale contre-intuitive

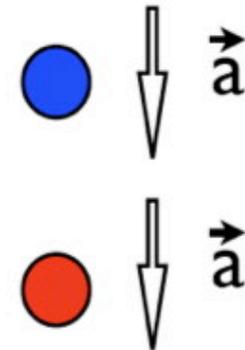
A Bondi mass in Earth
gravitational field



Positive and negative mass,
linked by a string



Cut the string:
Both particles fall



R. Price, Am. J. Phys. 61 (1993) 216.

Relativité générale contre-intuitive

- Blanchet et Le Tiec : un milieu gravitationnellement polarisable avec une densité de $\approx 10^{42}$ particules par m^3 amène une modification de la loi de la gravitation qui reproduit MOND (Modified Newtonian Gravity)
- « Model of dark matter and dark energy based on gravitational polarization », L. Blanchet, and A. Le Tiec, Phys. Rev. D78.024031 (2008)
- Analogie avec équations de Maxwell dans la matière : équations effectives de Maxwell modifiées
- Pourrait permettre d'expliquer MOND si les constituants de base du vide sont symétriques $\pm m$

Quelques conclusions

- Les études réalisées dans le cadre de l'expérience TAUP au Fréjus ont été des expériences pionnières en astroparticules, domaine alors inexistant
- Aujourd'hui un domaine majeur de l'IN2P3
- L'étude des rayons cosmiques, et des muons observés dans les laboratoires souterrains, ont ensuite donné lieu à plusieurs expériences très visibles (HESS, Edelweiss, et aujourd'hui CTA), et Bernard et ses étudiants y ont très largement contribué
- Ne pas hésiter à persévérer sur plusieurs générations d'expérience avant de parvenir au top niveau mondial
- Toujours croire à vos convictions profondes, et ne jamais croire ceux qui vous disent « Ça ne marchera jamais »