

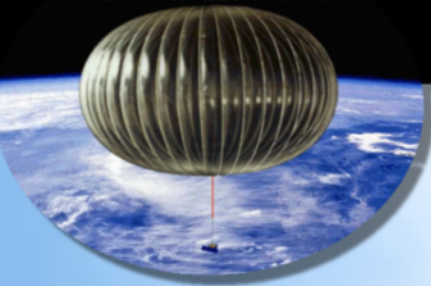


C. R. E. A. M.

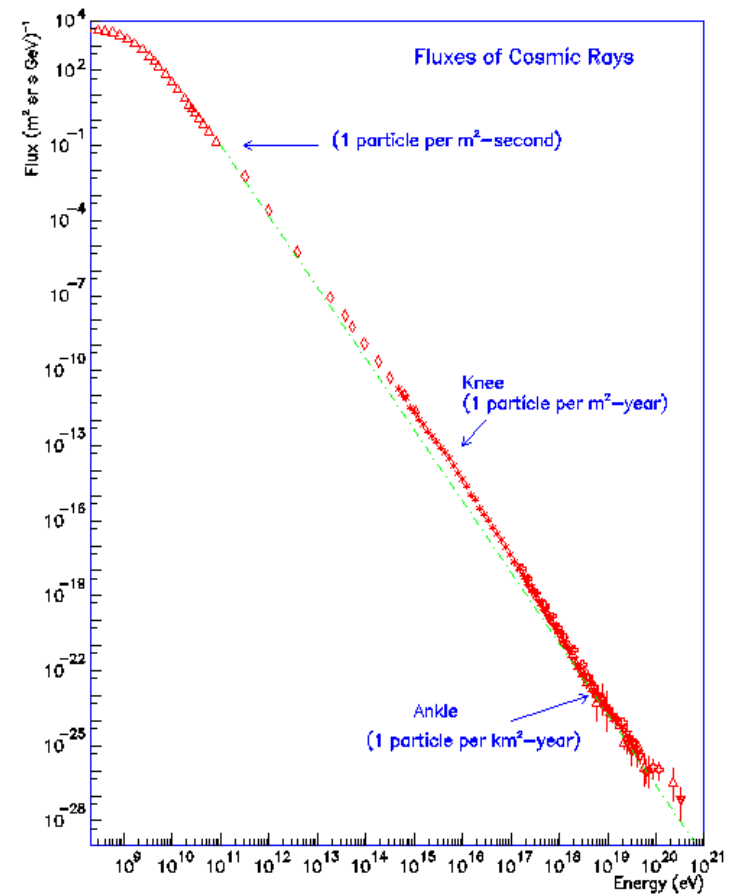


cosmic ray energetics and mass

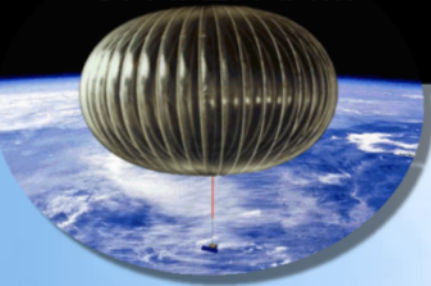
Rayonnement Cosmique



**Rayonnement cosmique :
Mesuré depuis un siècle,
(vol de Victor Hess en 1912)**



Rayonnement Cosmique



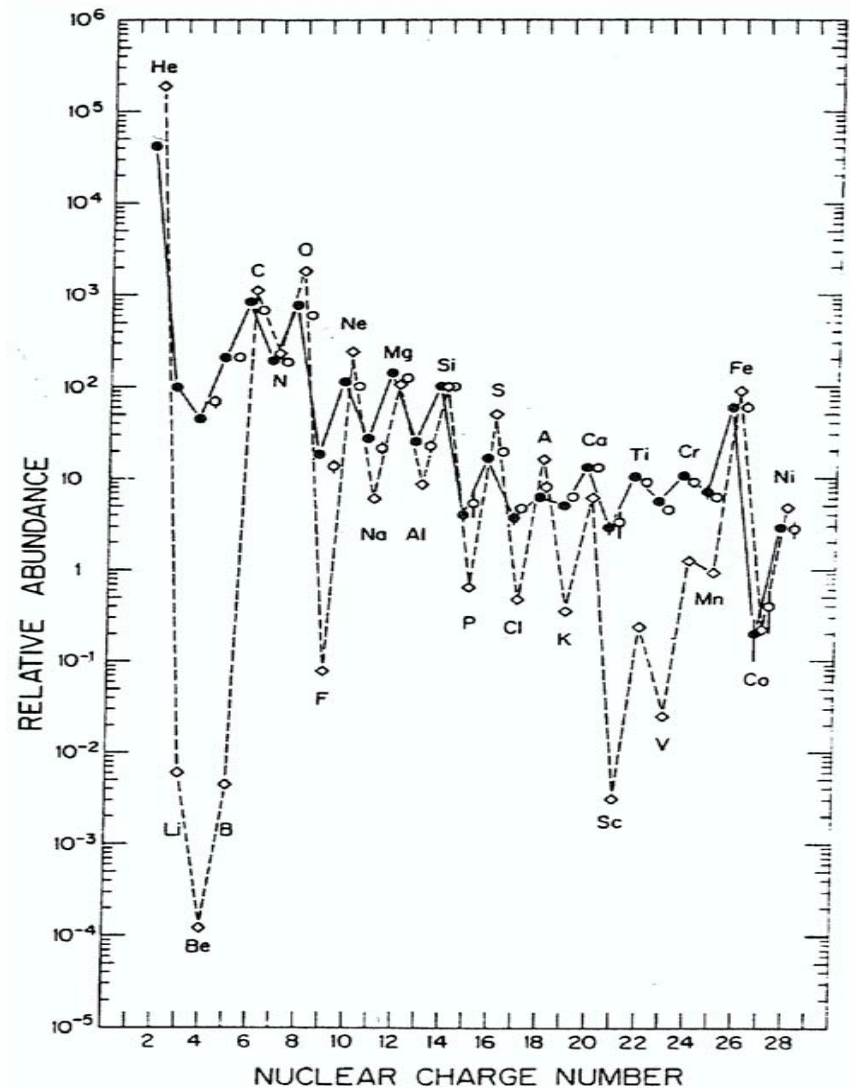
Composition

~milieu interstellaire :

90 % de proton

9 % d'hélium

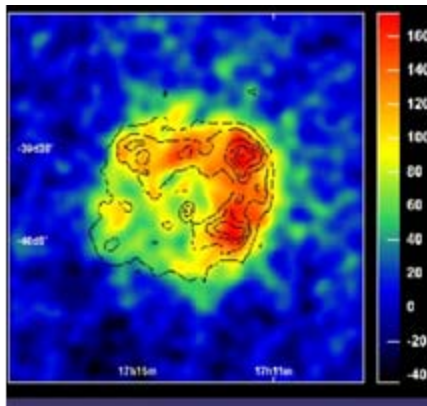
1 % d'éléments plus lourd



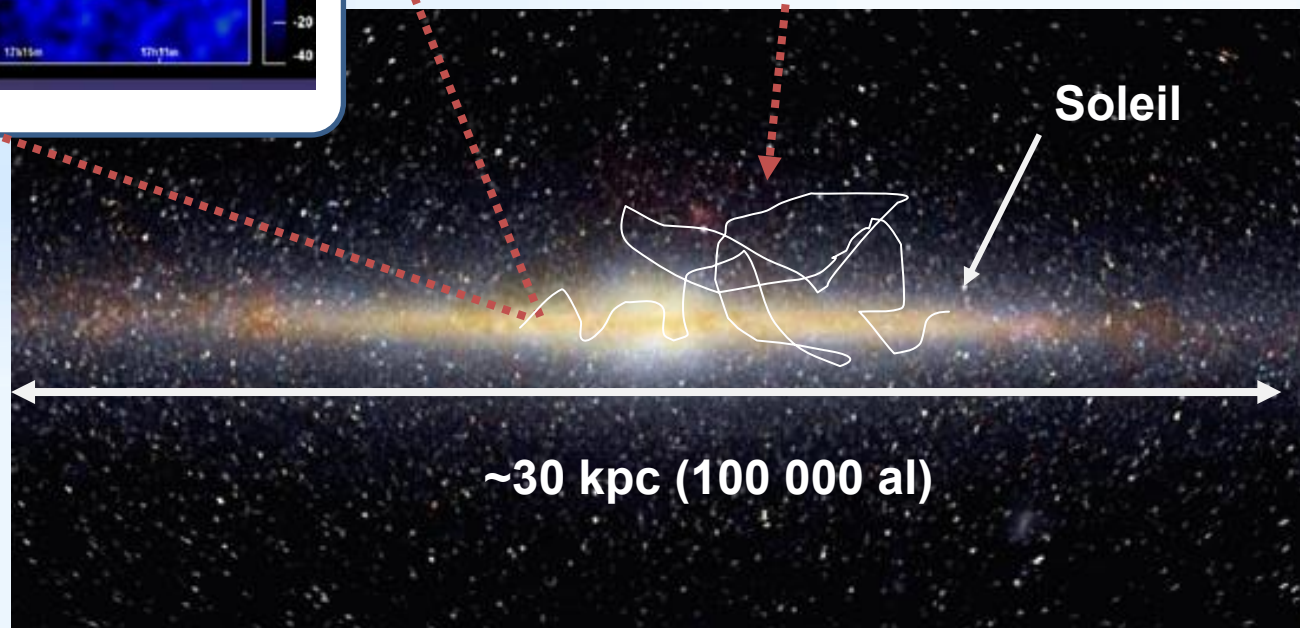
Rayonnement Cosmique



sources :
Front de chocs
supernovae ?



Confinement du rayonnement
cosmique autour de la galaxie
 $\tau \sim 10$ Million d'années



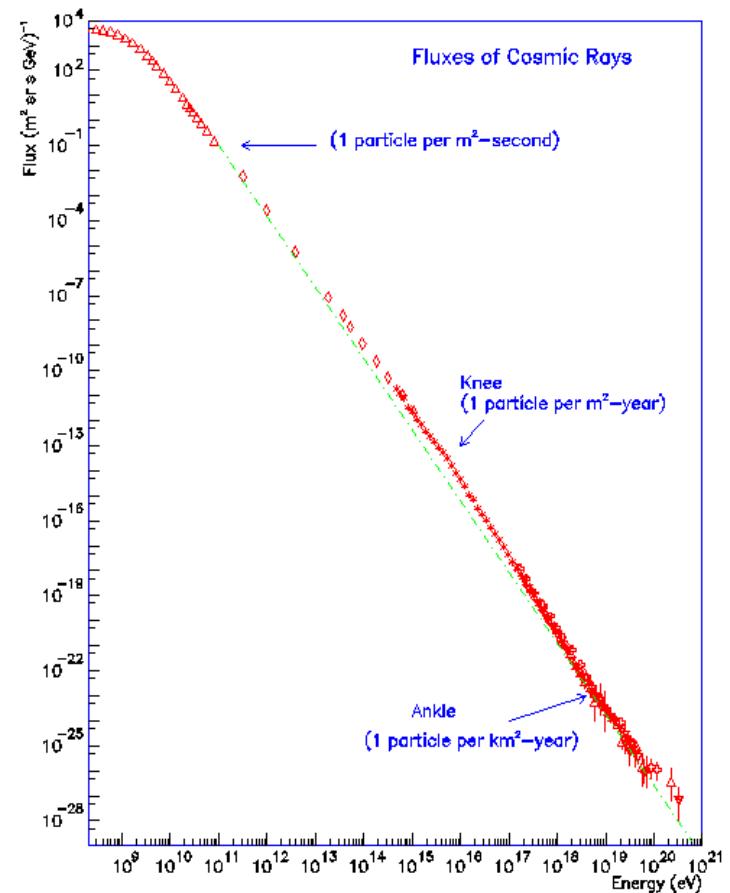
Rayonnement Cosmique



➔ **RC : Mesuré depuis un siècle mais encore beaucoup de questions ouvertes :**

- **Source du rayonnement dans la galaxie**
- **Accélération du RC**
- **Processus d'injection**
- **Propagation dans la galaxie**
- **Origine de Genou**
- **Transition galactique-extragalactique**
- **Source extragalactique d'UHE**
- **Coupure GZK**

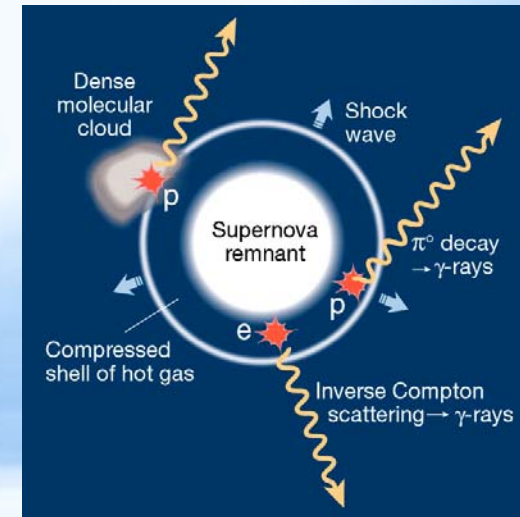
- +
- **Recherche matière noire**
 - **Symétrie matière/antimatière**



Observation du RC

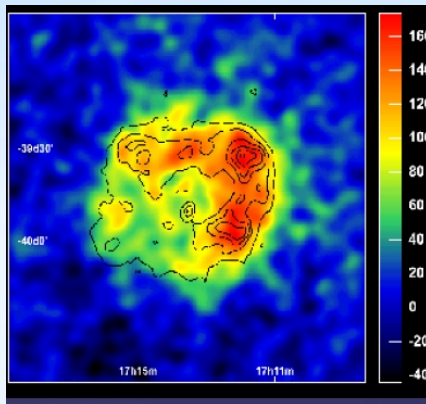


1. Interaction du RC dans le voisinage des sources

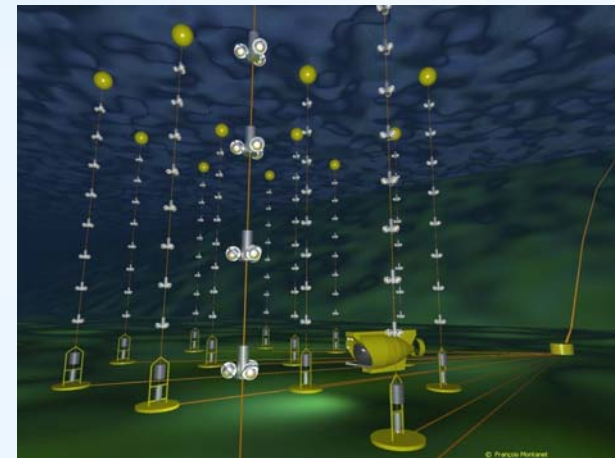


→ Rayonnement GAMMA
(HESS, GLAST,...)

→ Neutrino
(Ice Cube, Antares, km3...)



SNR RX J1713.7-3946



Observation du RC



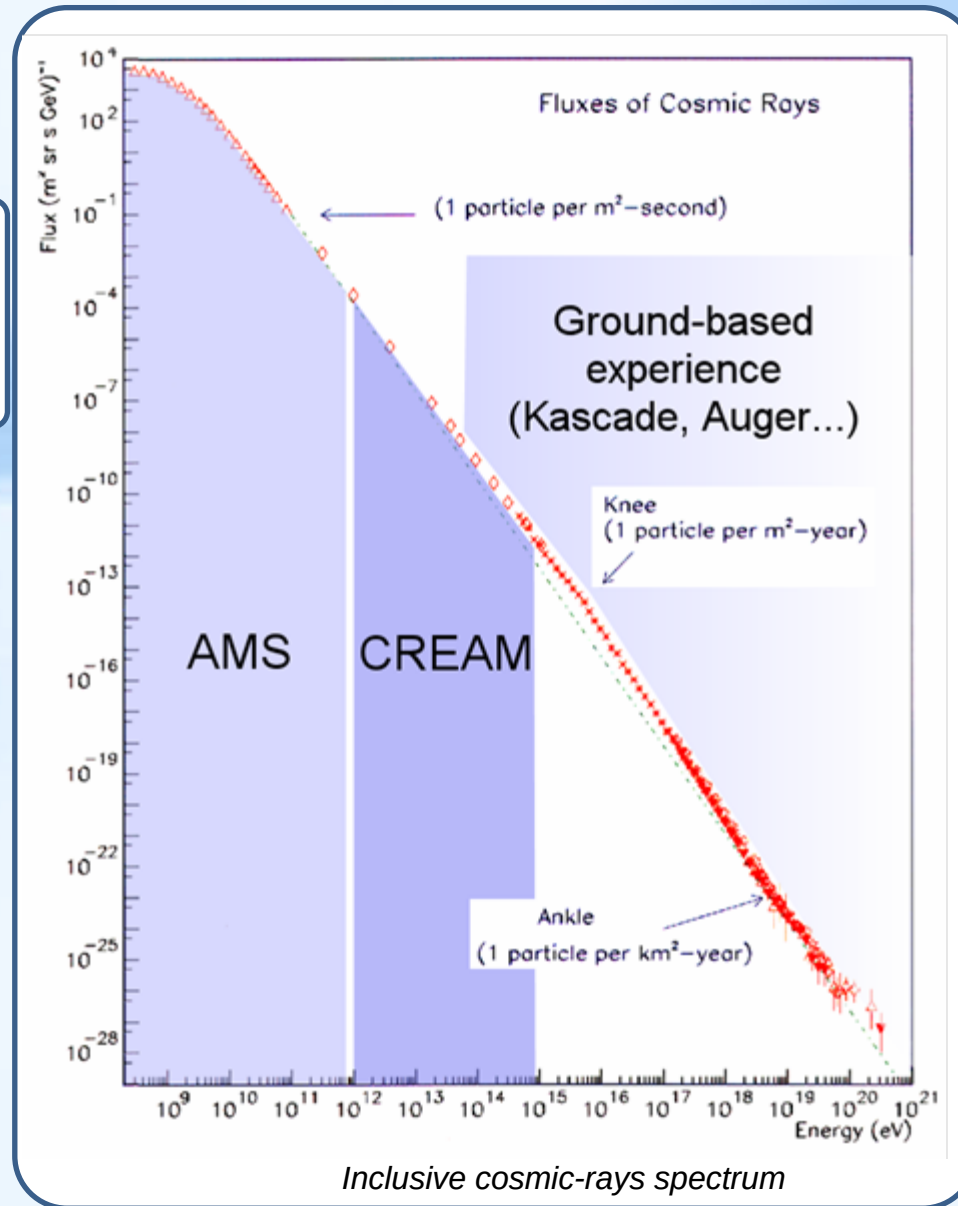
2. Mesure du RC propagé jusqu'à la terre

➔ Effet de propagation : perte d'énergie, interaction, diffusion du RC,....

Point clé : indentation des particules.

**- Mesure directe (espace/ballon):
identification dans le détecteur**

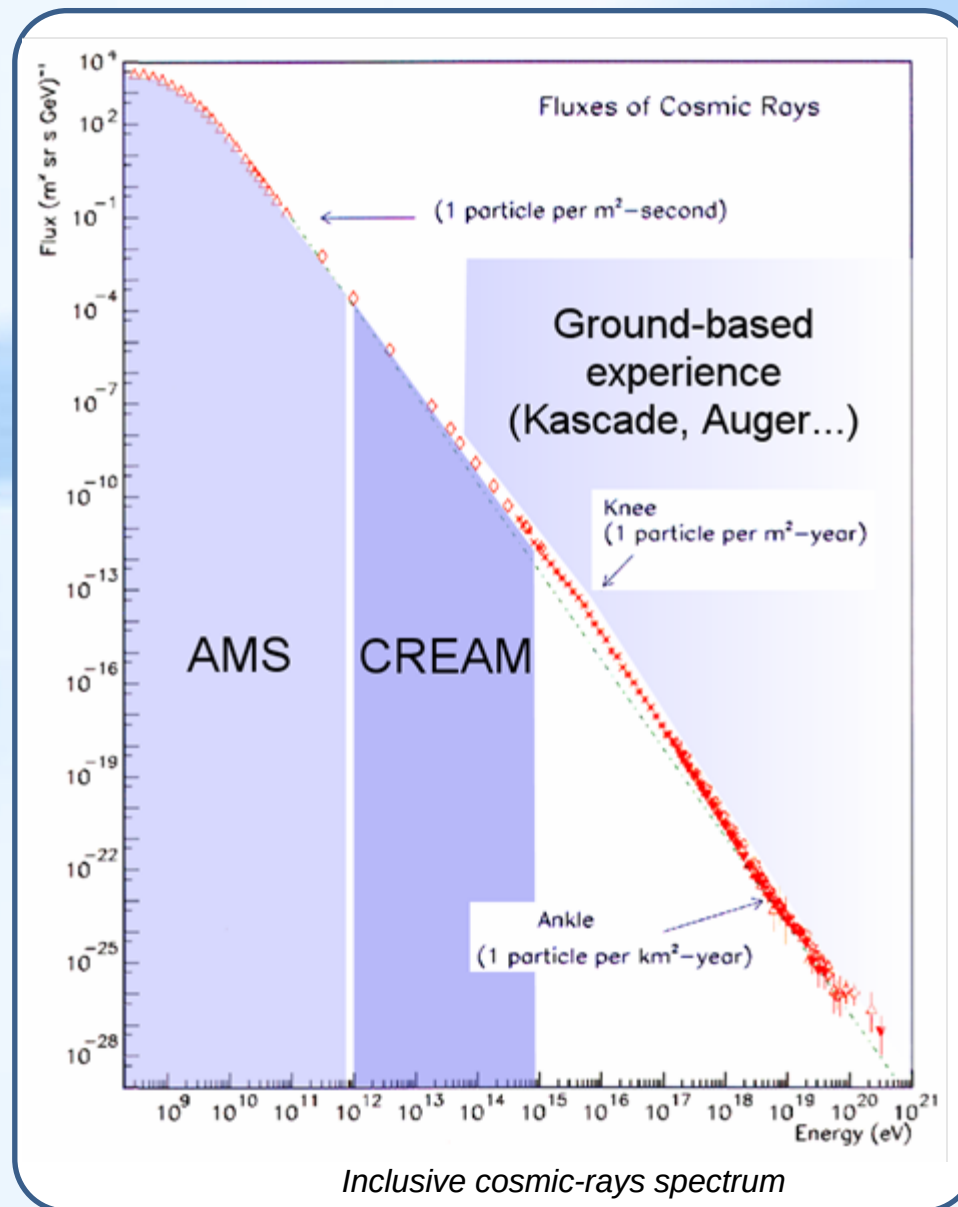
**- Mesure au sol : (déconvolution
du signal observé)**





➔ Expérience ballon de mesure directe du RC entre 1 TeV et 1000 TeV pour l'étude de :

- Propagation dans la galaxie
- Accélération du RC
- Processus d'injection
- Calibration détecteur au sol



Propagation/Confinement du RC



$$\frac{N_{cr}}{T} = Q_{cr}$$

$E^{-\gamma}$ → Densité du RC
 $E^{-\delta}$ → Temps de confinement
 $E^{-\alpha}$ → Spectre source

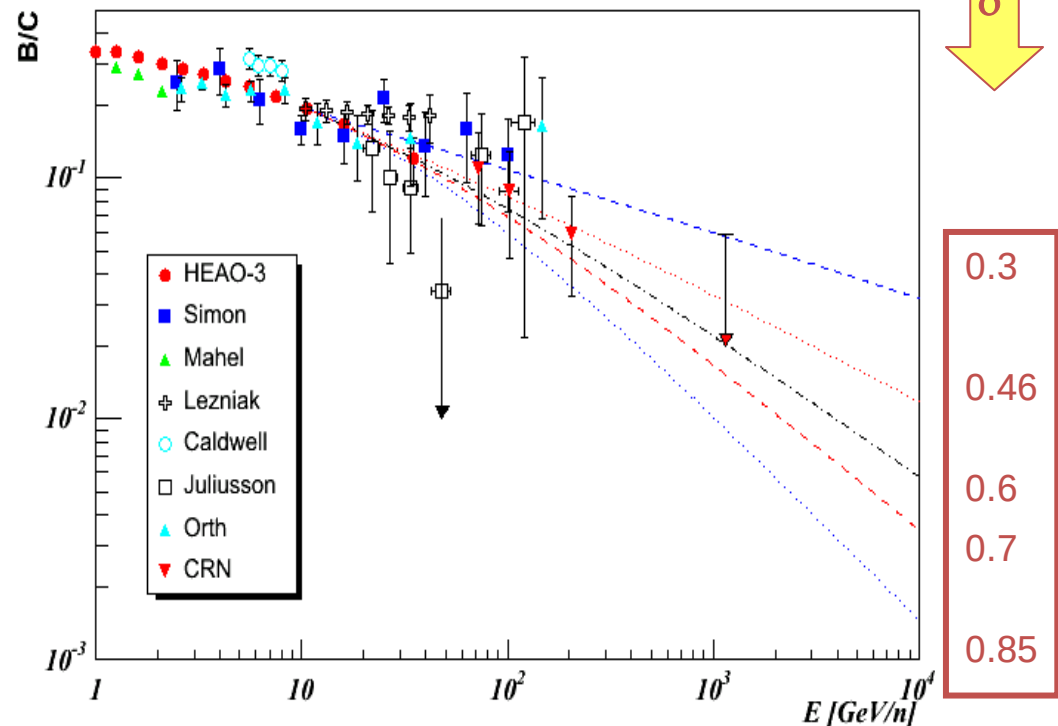
$$\gamma = \alpha + \delta \approx 2.7$$

Mesure de
Sec/Prim $\sim T \sim E^{-\delta}$

$$\delta = 0.3 \dots 0.7$$

$$\alpha = 2.0 \dots 2.4$$

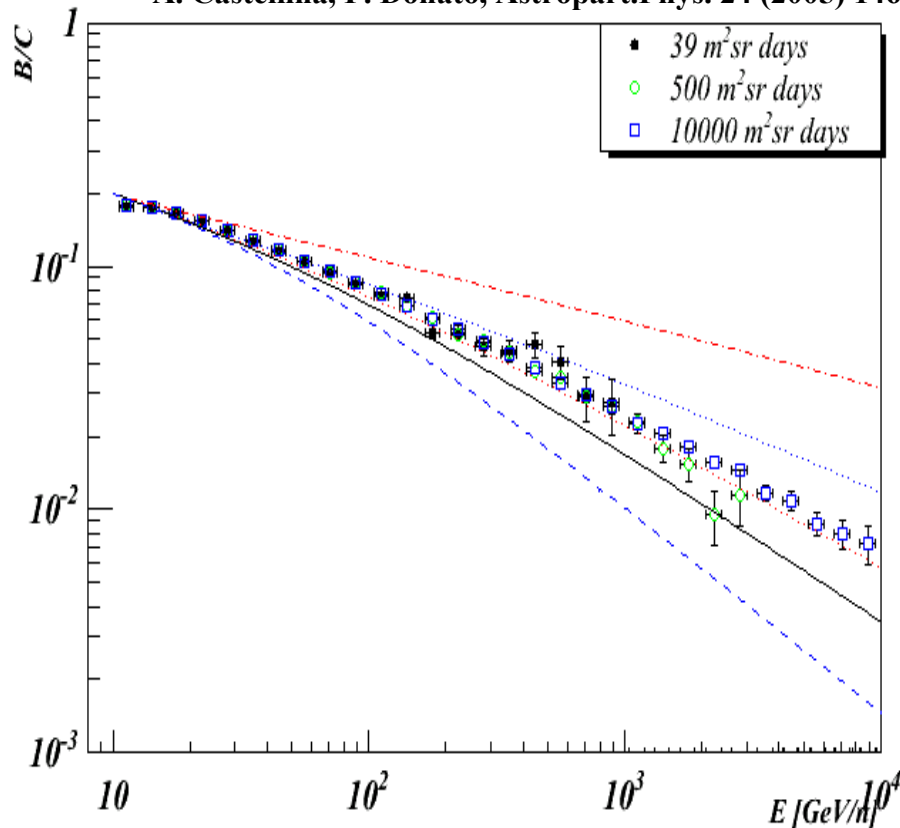
Données expérimentales HEAO-3 / CRN





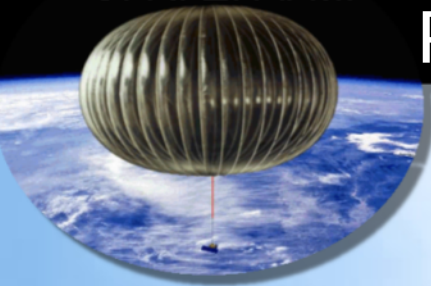
Propagation/Confinement du RC

A. Castellina, F. Donato, *Astropart.Phys.* 24 (2005) 146



mesure de δ à $\sim 10\%$

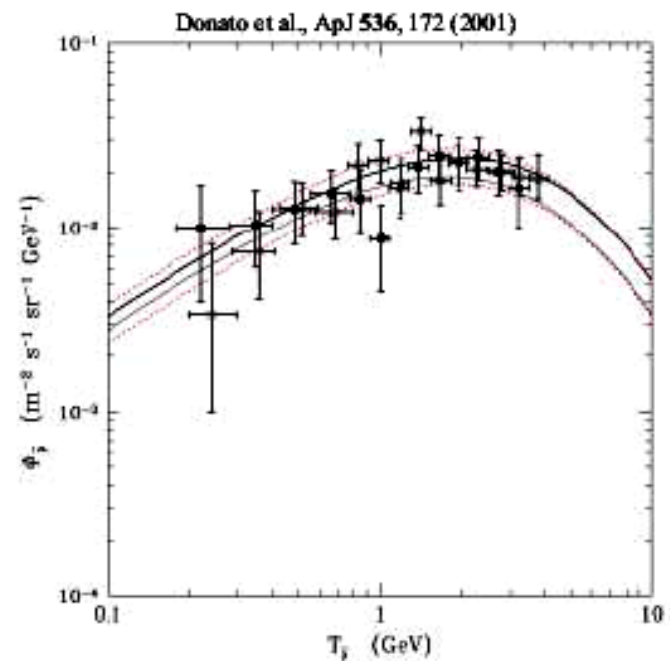
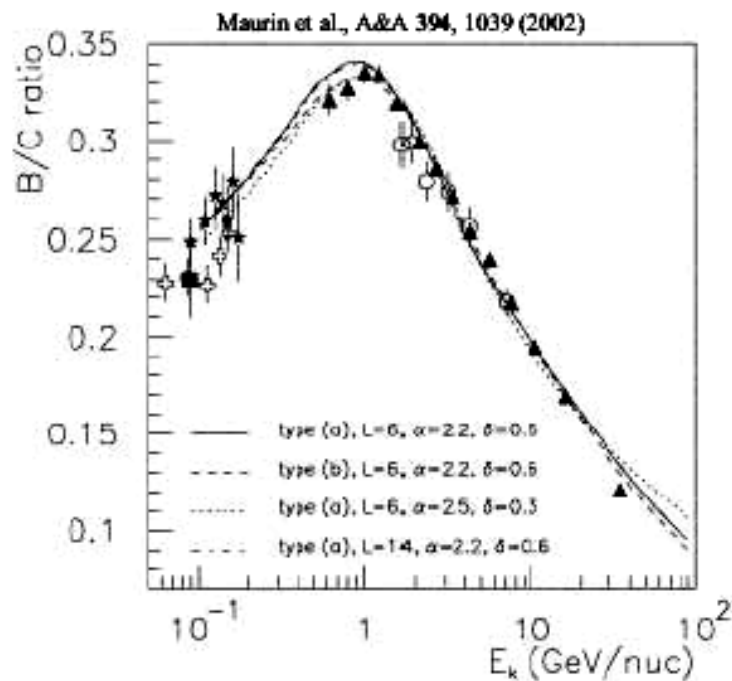
- ➔ intérêt multiple :
- Physique de la propagation du RC
 - (+AMS) Mesure de tous les paramètres de la diffusion :
Meilleure contrainte sur les antiprotons sec. et prim.



Propagation/Confinement du RC

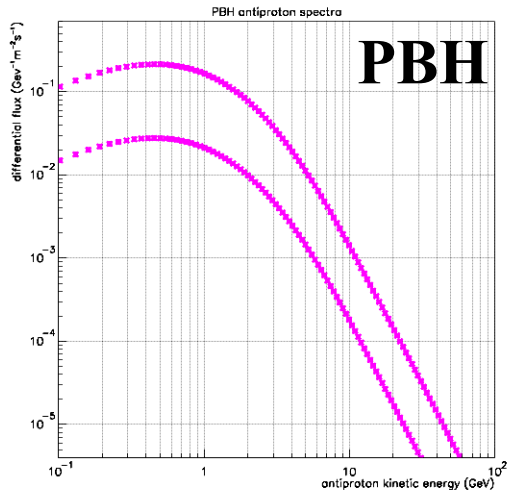
Conséquences pour la recherche de nouvelle physique à basse énergie ?

Antiprotons secondaires bien connus



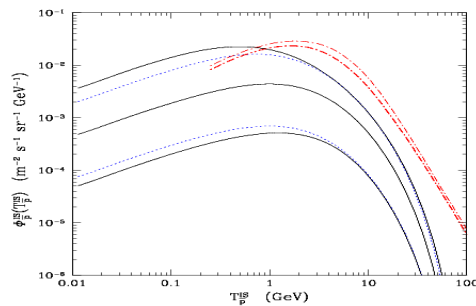
D. Maurin et al., A&A 394 (2002) 1039 ; F. Donato et al., ApJ 536 (2001) 172

Propagation/Confinement du RC



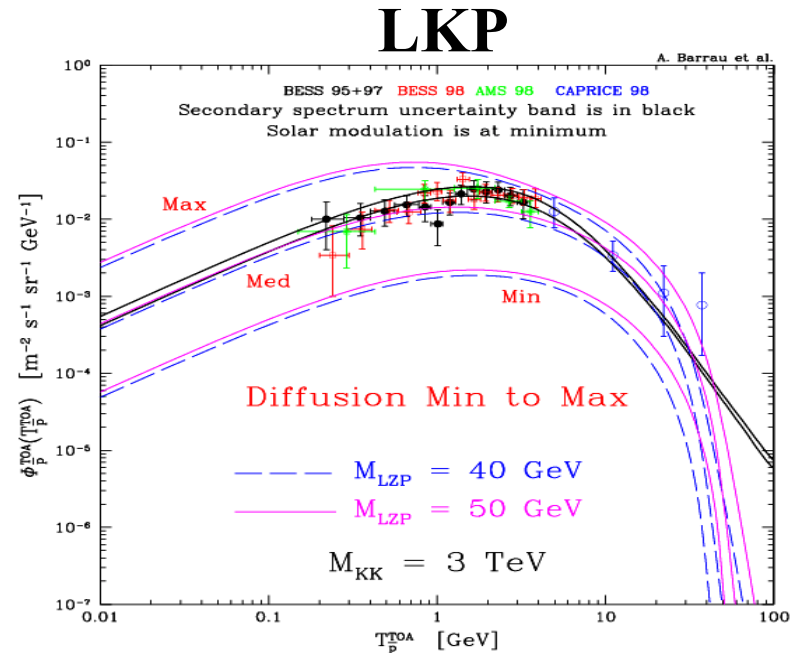
A. Barrau et al., Astron. Astrophys. 388 (2002) 676

Neutralinos



Donato et al., Phys. Rev. D 69 (2004) 063501

Antiprotons SUSY, LKP, PBH



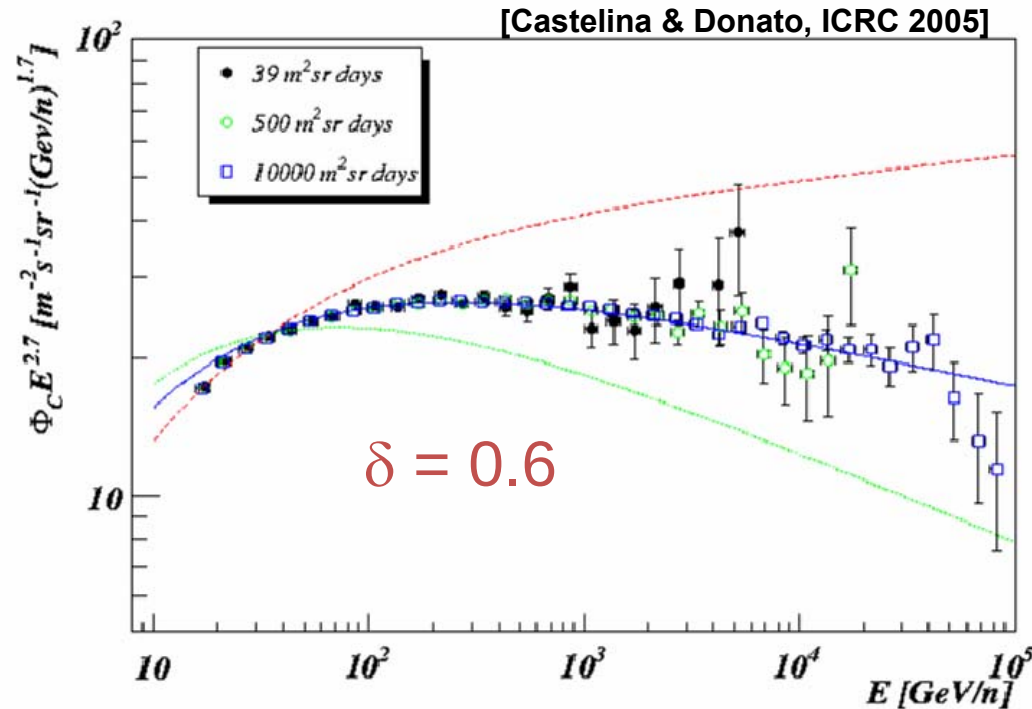
A. Barrau et al., Phys. Rev. D 72 (2005) 063507

Capacité de mesure (~GeV) limitée par l'incertitude sur la taille du halo diffusif → CREAM changera radicalement la situation



Mesure la pente source du RC

➤ Mesure de $\alpha = \gamma - \delta$



1.9

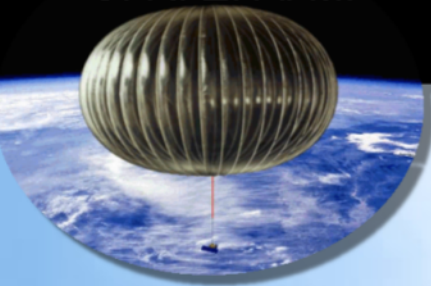
2.05

2.2

➤ Erreur sur la pente source dominée par l'erreur sur δ (B/C) : $\Delta\alpha \approx 0.05$

➔ Mesure complémentaire de l'observation directe des sources en astro gamma et neutrino

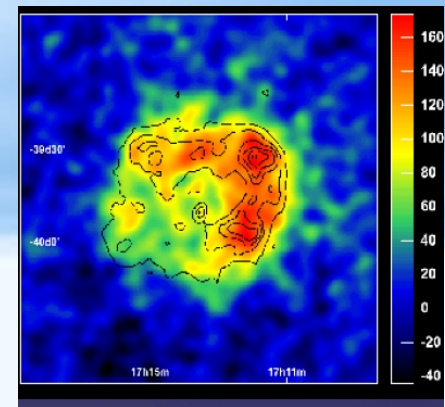
Mesure la pente source du RC



➤ Astro Gamma : HESS [F.A Aharonian et al, Nature 432 (2004) 77] SNR RX J1713.7-3946

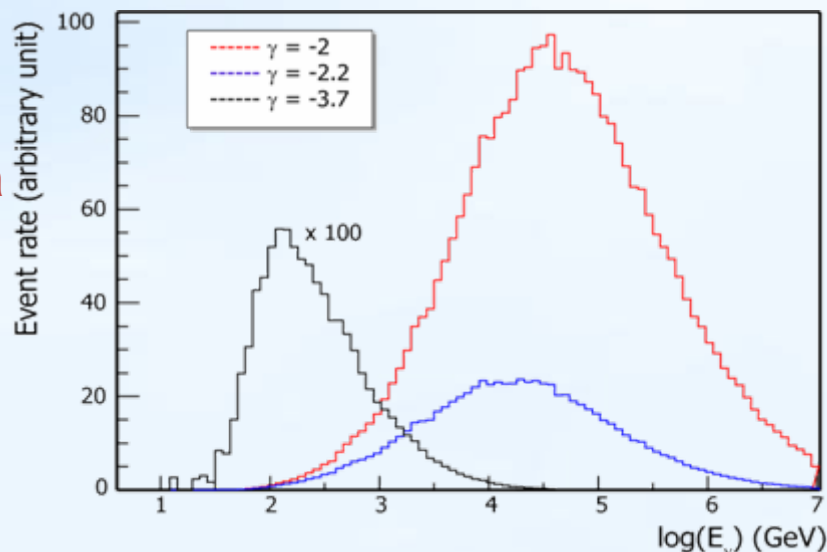
Mesure de l'indice spectral : 2.2 ± 0.09

- Spectre compatible avec une contribution IC
- Mais indications qui favorisent l'hypothèse hadronique [HESS Coll. astro-ph/0511678]



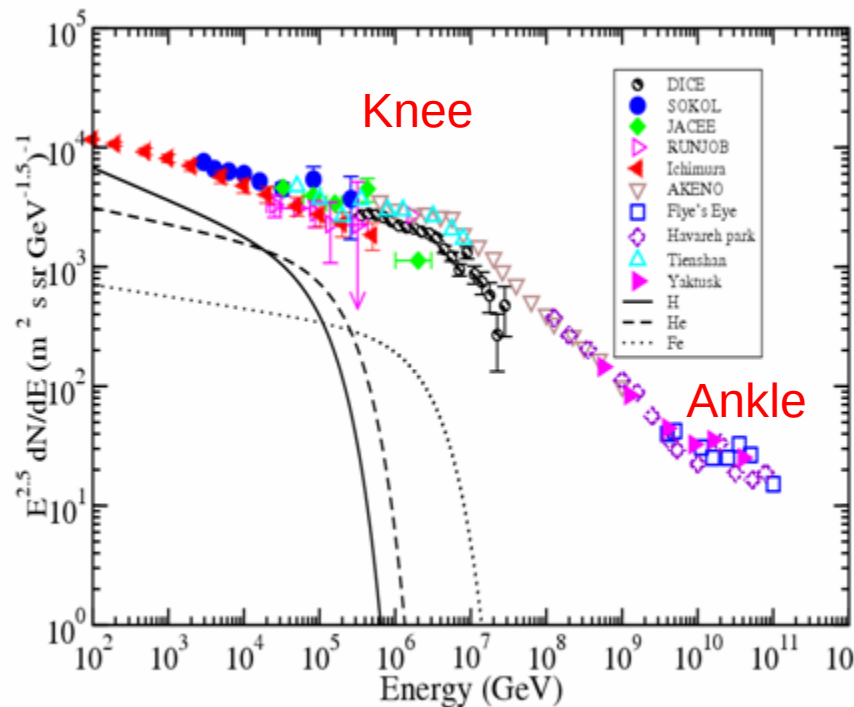
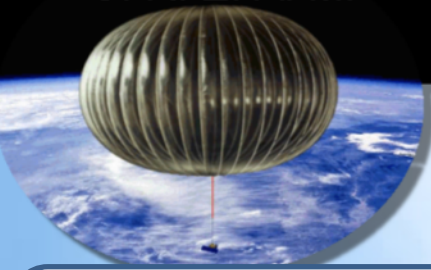
➤ Astro ν :

Le nombre d'événements dépend très sensiblement de la pente du spectre source



Réponse du détecteur Antares pour un flux en E^γ

Limite d'accélération du RC



- ➔ Structure du genou
 - Changement d'indice spectral à $\sim 3 \times 10^{15}$ eV : $\gamma=2.7 \rightarrow \gamma=3.0$
 - Le spectre continu jusqu'à 3×10^{18} eV
- ➔ Défaillance des modèles d'accélération/propagation du RC galactique dans la région du genou.

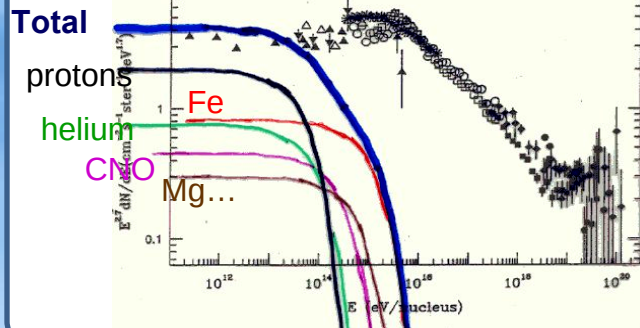
- ➔ Mesure du flux de proton dans CREAM :
 - Limite inférieure sur la coupure en énergie.
(10 év. $E > E_{\max}$ dans l'hypothèse sans coupure)
 - pour 100 jours $E_{\max}(Z=1) = 250$ TeV

Spéculation sur l'origine du Genou

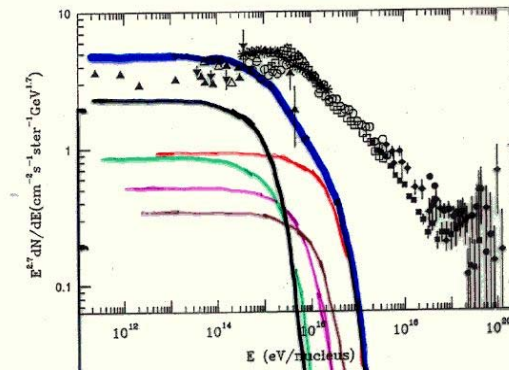
(d'après T.K. Gaisser)

Limite d'accélération ?

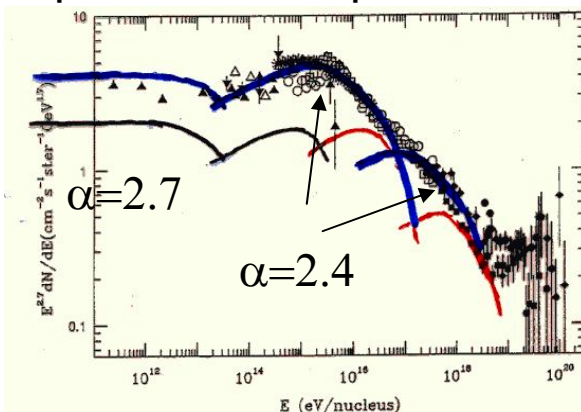
$$E_{\max} = Z \times 30 \text{ TeV}$$



$$\text{ou } E_{\max} = Z \times 1 \text{ PeV}$$



plusieurs composantes ?



- Région peuplée par un petit nombre de sources ? [Erlykin & Wolfendale, J. Phys. G 27 (2001)1005]

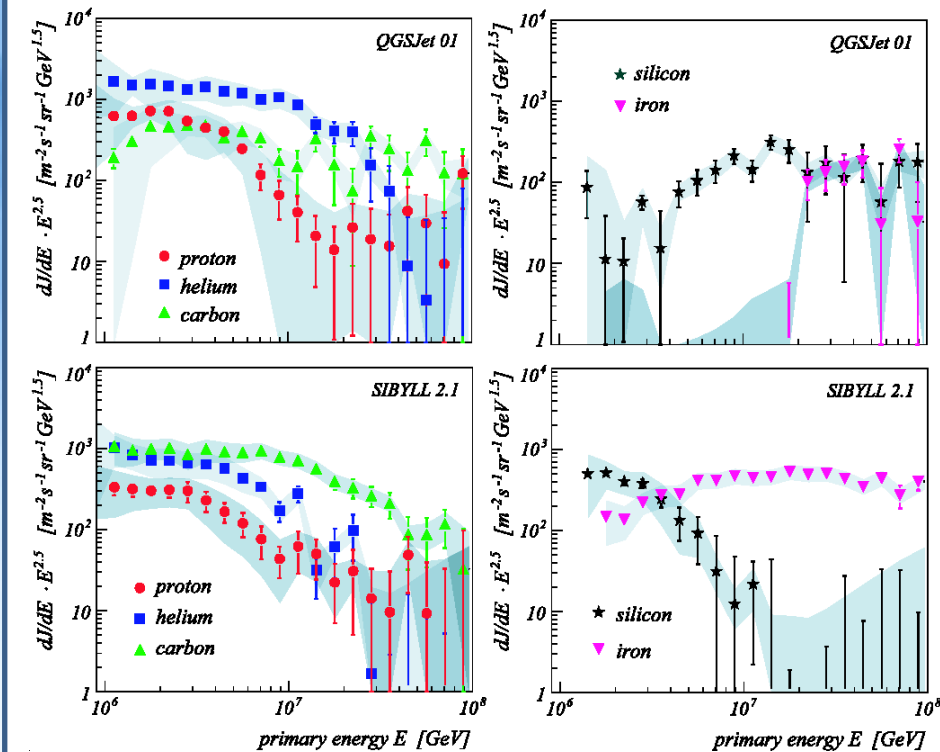
➔ **Problème de Fine-tuning**

- Accélération séquentielles ?
- Changement du processus de diffusion ?

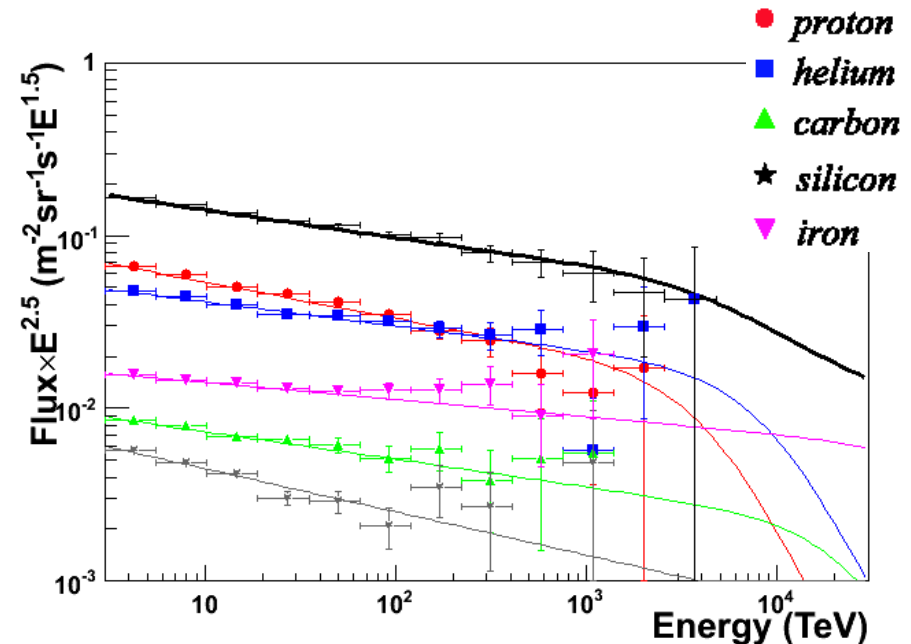
[T.K. Gaisser astro-ph/050119]

➔ **Mesure des spectres individuels du rayonnement cosmique nécessaire**

[H. Ulrich et al. (Kascade Collaboration), ICRC 2005]



Etude de la statistique attendue pour 100 jours de CREAM



$\phi_Z = \phi_Z^0 E^{\gamma_Z}$ où ϕ_Z^0 et γ_Z sont ajustés sur les données actuelles.

$\gamma_Z \rightarrow \gamma_Z + 0.3$ à $E = Z \times 4 \text{ PeV}$

[Horandel, Astropart. Phys. 19 (2003) 193]

The CREAM experiment



CREAM (Cosmic Ray Energetics and Mass) :
balloon borne experiment, dedicated to high energy
cosmic ray elemental spectra measurements

CREAM Collaboration

- 6 U.S. universities : Maryland, Chicago, Penn State, Northern Kentucky, Minnesota, Ohio State
- 3 Korean universities : Ewha Womans (Seoul), Korea Advanced Inst.Sci. and Tech., Kyungpook National University (Taegu)
- Sienna (INFN), Italy
- **UNAM Mexico**
- **LPSC Grenoble + CESR Toulouse**

**Colab.
Chercam**

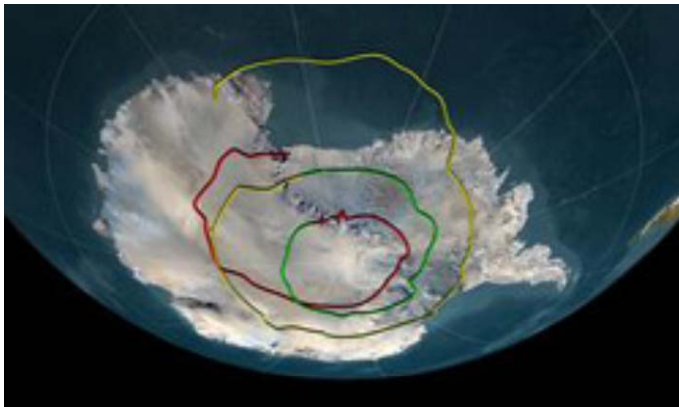


The CREAM experiment



Launched from the US's McMurdo base in **Antarctica**
CREAM holds the world duration record for a scientific flight
(**42 days** in the 2004 campaign)

1st CREAM flight
from 16/12/04 to 26/01/05



- 2 vols effectués (LDB) en
2004 et 2005 :
Premiers résultats présentés à
l'ICRC 2007.

- Programme expérimental :
~ 1 vol par an avec à terme
des vols ULDB



30TH INTERNATIONAL COSMIC RAY CONFERENCE 2007

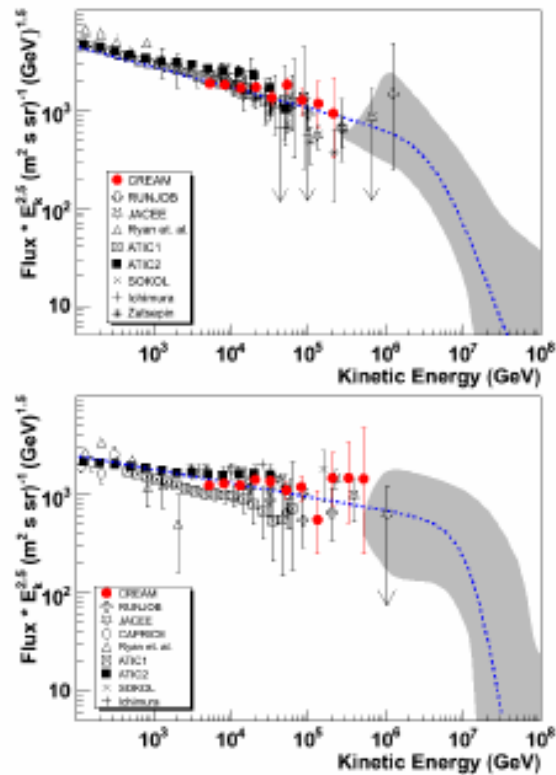


Figure 1: Preliminary CREAM-I (red circles), proton (top) and helium (bottom) spectra in energy per particle are compared with direct measurements (various symbols), Hörandel's empirical model (dotted curve) and ground based indirect measurements (shaded area).

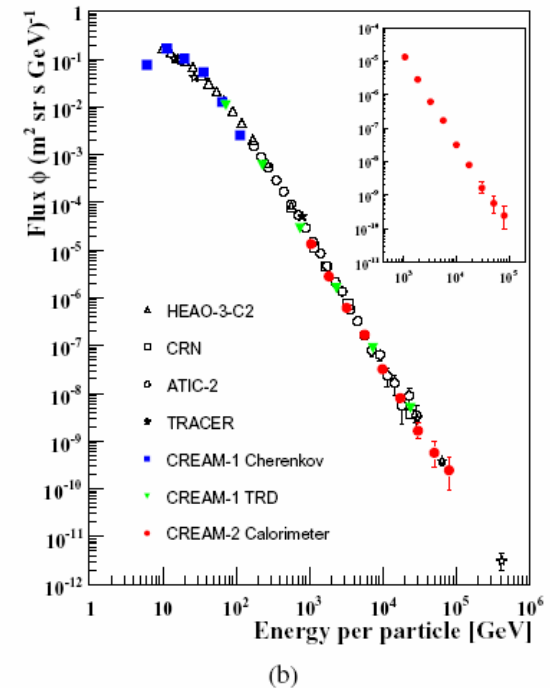
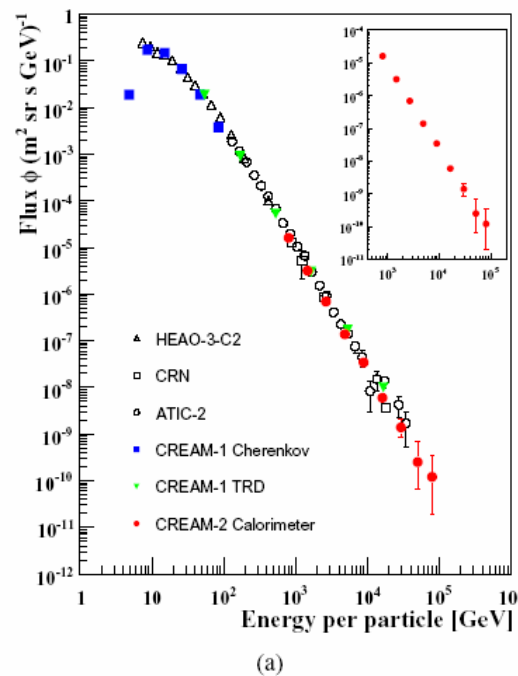
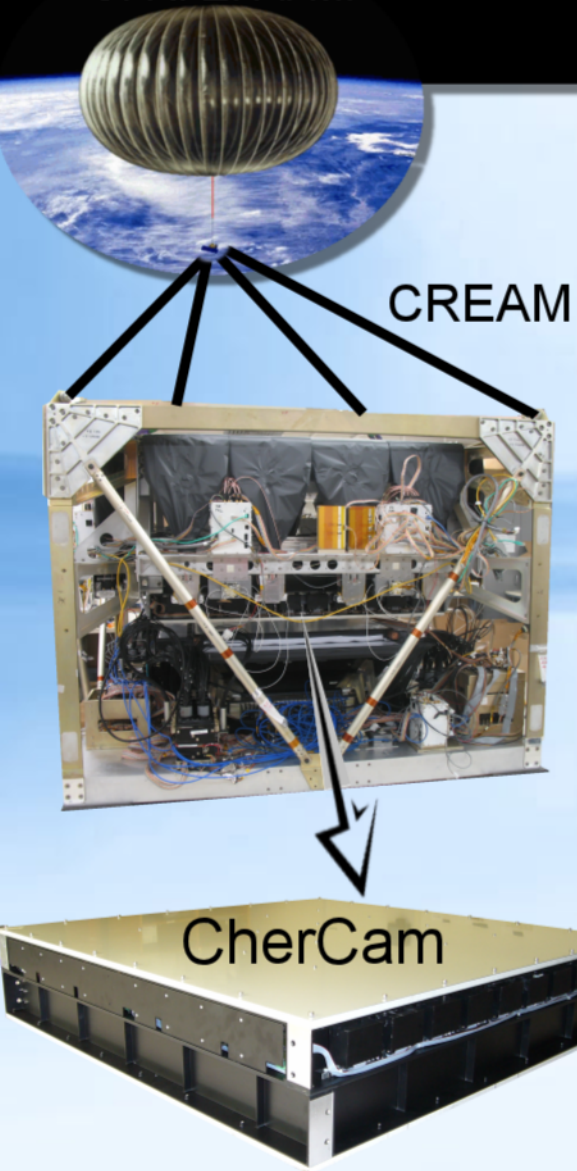


Figure 2: Cosmic-ray energy spectra for carbon (a) and oxygen (b) nuclei from HEAO [4], CRN [7], ATIC-2 [6] and TRACER [5] with preliminary results from the first [8] and second (red filled circles) flight of CREAM. The latter are also plotted separately in the inserts.

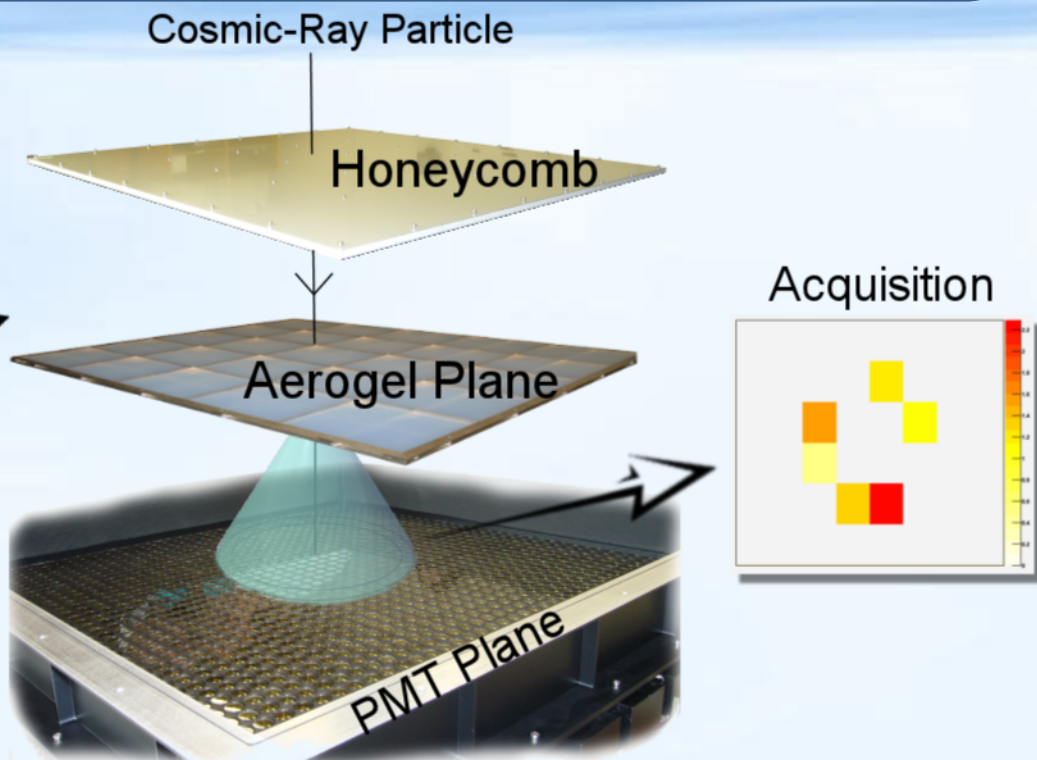
CherCam : Principe



CherCam (CHERenkov CAMera) : Nouveau sous détecteur

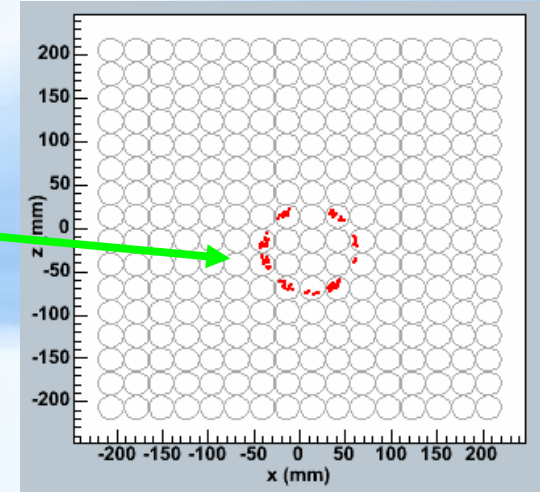
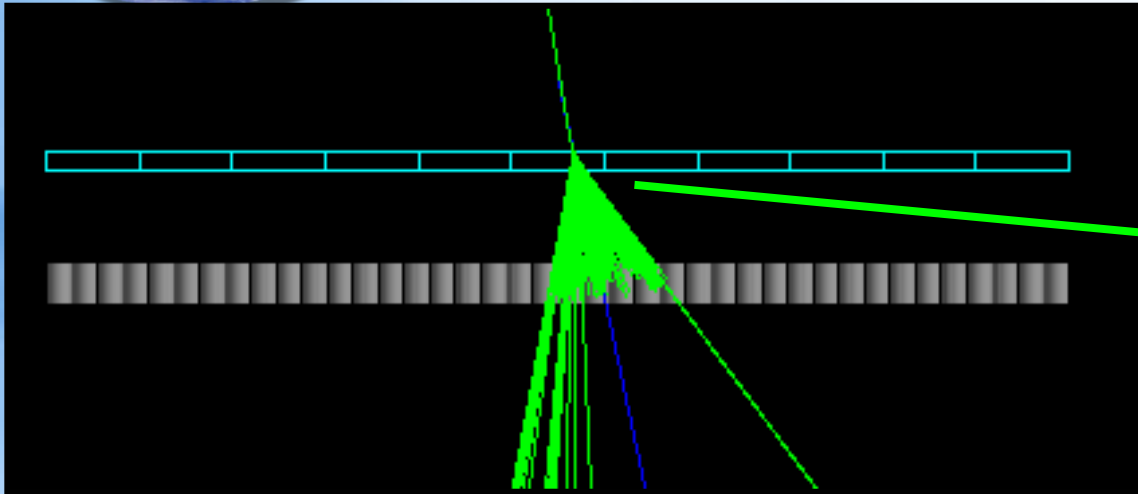
Mesure de charge par imagerie Tcherenkov :

- ➡ Radiateur ➡ 200 tuile d'aérogel
- ➡ Détection ➡ 1600 PMTs (1") plan





M. Mangin-Brinet & Y. Sallaz-Damaz



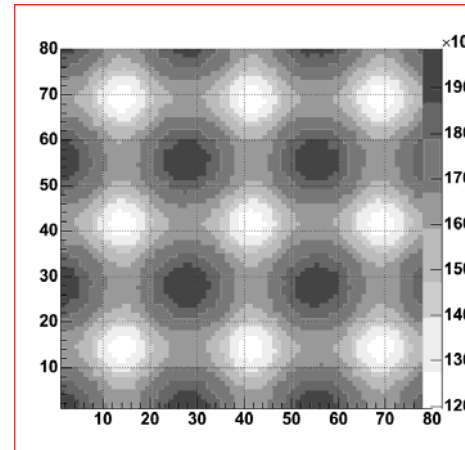
- Nombre de photon détectés par le plan de PMT :

$$N_{\text{det}}(Z) = \varepsilon_q \varepsilon_{\text{geo}} Z^2 N_{\text{Pho}}(Z=1)$$

- Résolution en $Z \sim 0.2-0.3$ jusqu'à $Z = 26$

$$\Delta Z = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{N_{\text{det}}(Z=1)}} \oplus \frac{1}{2} Z \frac{\Delta \varepsilon_{\text{geo}}}{\varepsilon_{\text{geo}}} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta \varepsilon_{\text{geo}}}{\varepsilon_{\text{geo}}} < 2\%$$

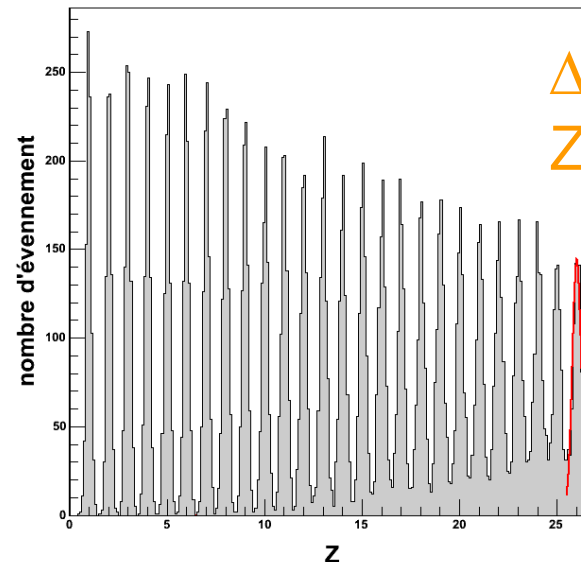
- Mesure de l'efficacité géométrique ε_{geo} ($\theta_i = 0^\circ$)



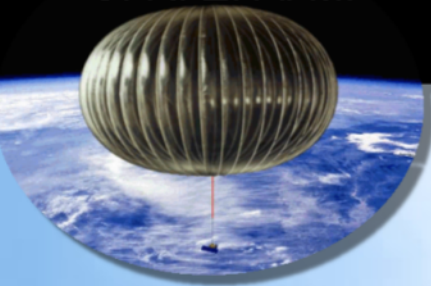
➡ Fluctuation de $\pm 25\%$

- Résolution limitée par la précision sur la trajectoire incidente

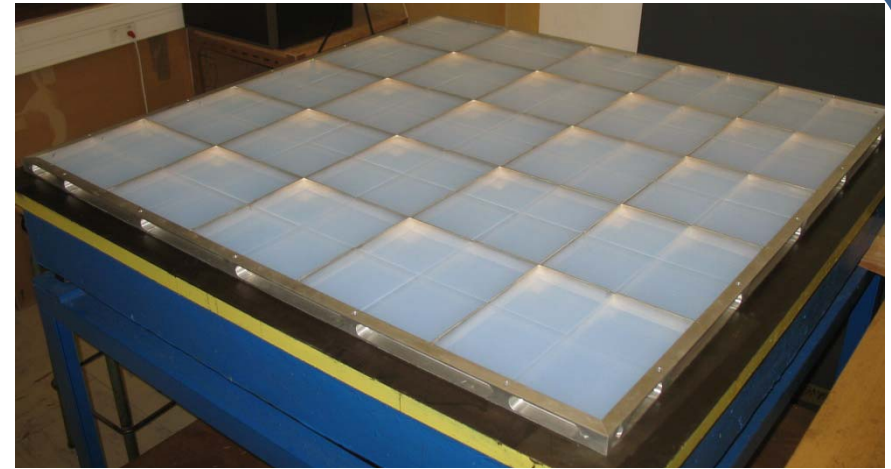
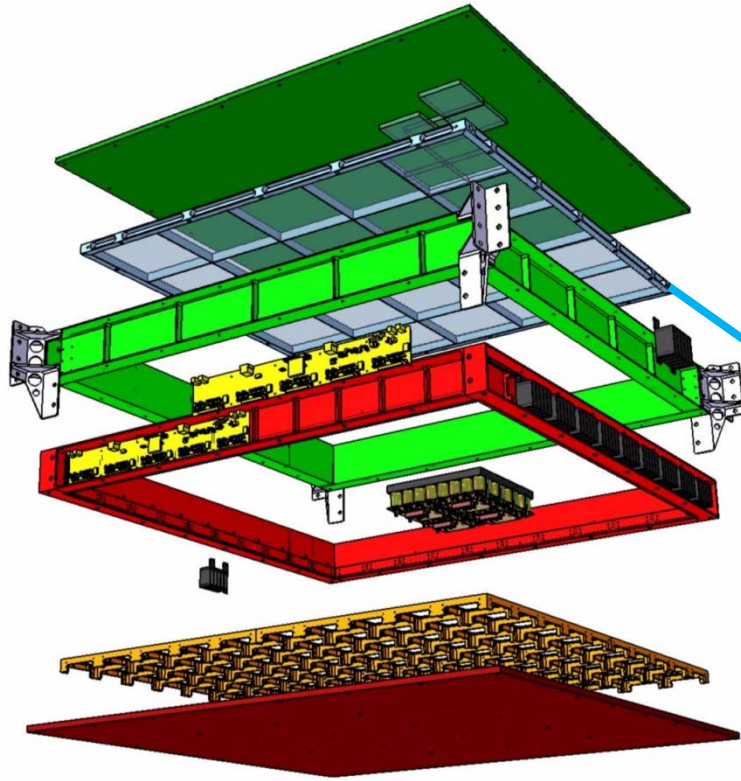
$$\Delta x \sim \text{mm}$$



$\Delta Z < 0.3$ jusqu'à
 $Z = 26$

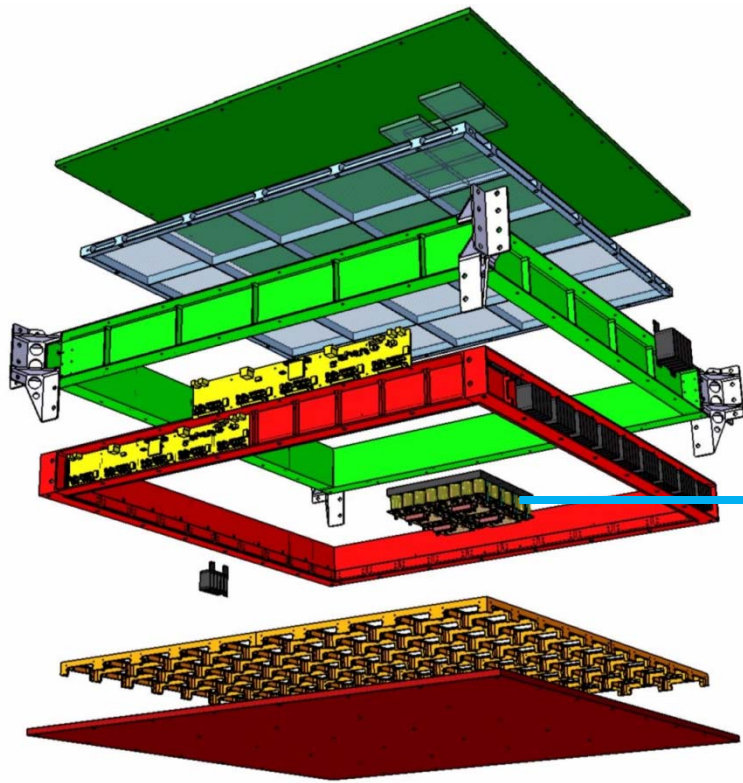


- **Novembre 2005** : Approbation du CS de l'in2p3
- **Année 2006** : Achat des composants, construction du détecteur, intégration
- **Juillet 2006** : Sélection programme blanc ANR
- **Janvier 2007** : Test, Livraison du détecteur à Washington (UMD)
- **Février-Mai 2007** : Intégration du détecteur dans CREAM
- **Juin-Octobre 2007** : Intégration CREAM sur le payload (Wallops, NASA), expédition antarctique
- **5 décembre 2007** : Ouverture de la fenêtre de vol pour CREAM

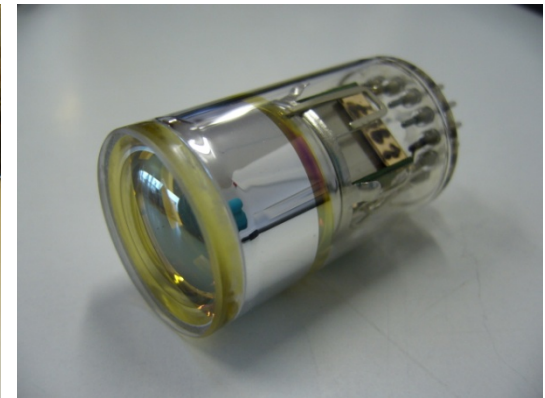


*Aerogel aluminum frame with
200 Mastushita SP50 tiles*

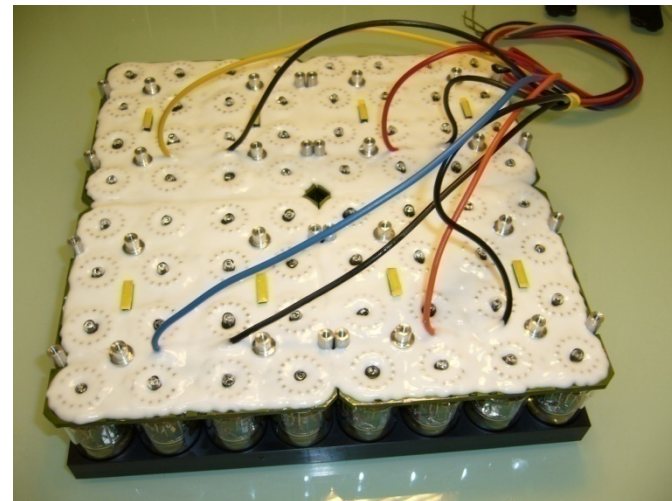
CherCam : Architecture et Construction



8x8 PMTs Module

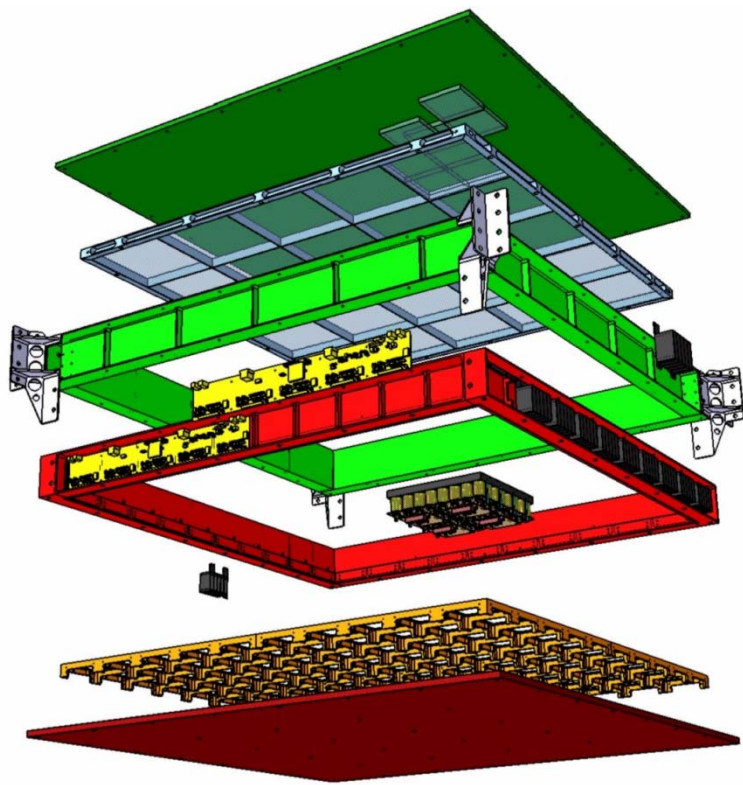


PMT (Photonis XP1232)



Module with potting

CherCam : Architecture et Construction

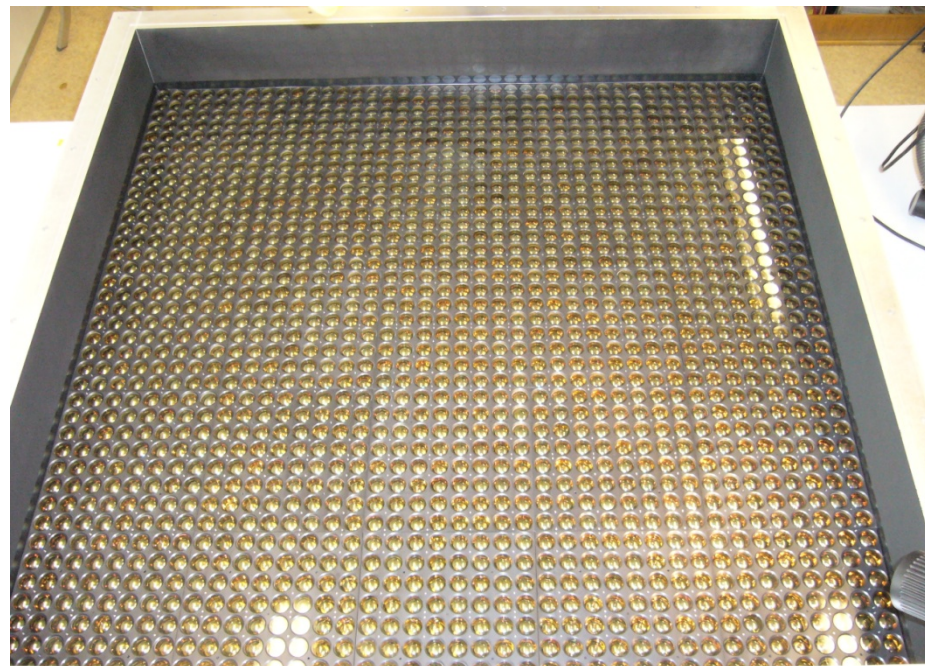
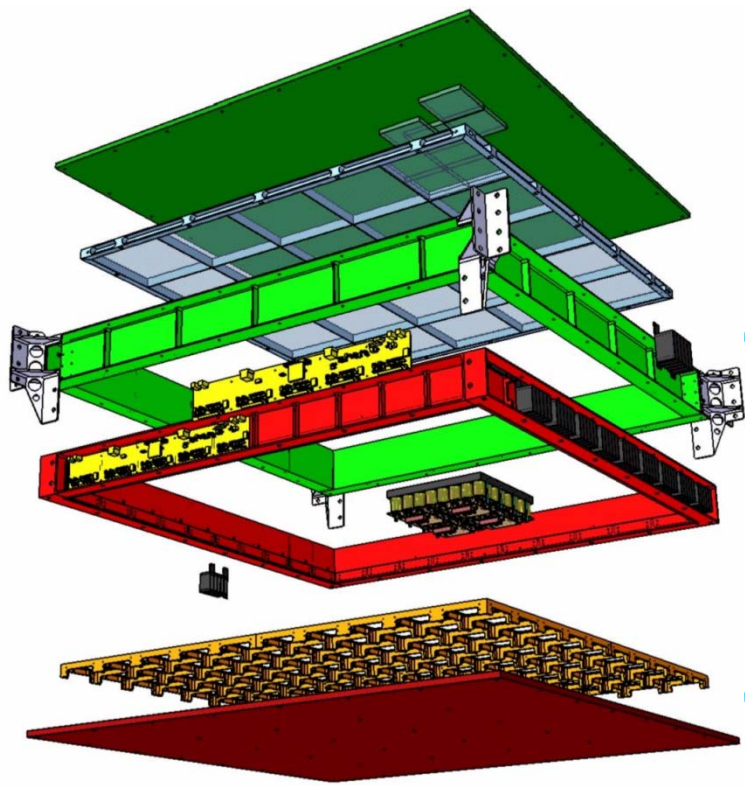


Read-out electronics



2x 50 HV modules

CherCam : Architecture et Construction



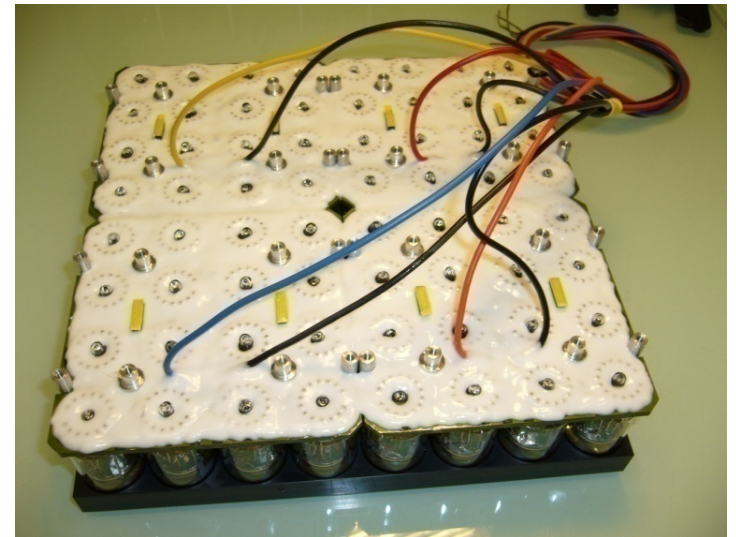
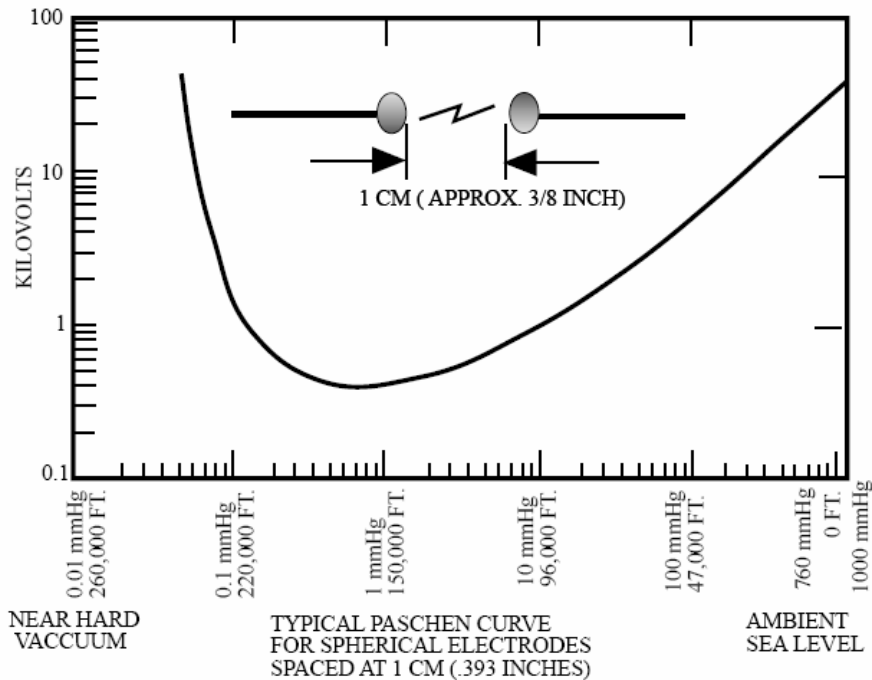
Complete PMTs frame

CherCam : Construction



- Contraintes spécifiques au vols ballons :
Haute Tension

**Problème de claquage au minimum
de pashen $\sim 5 \text{ g/cm}^2$**



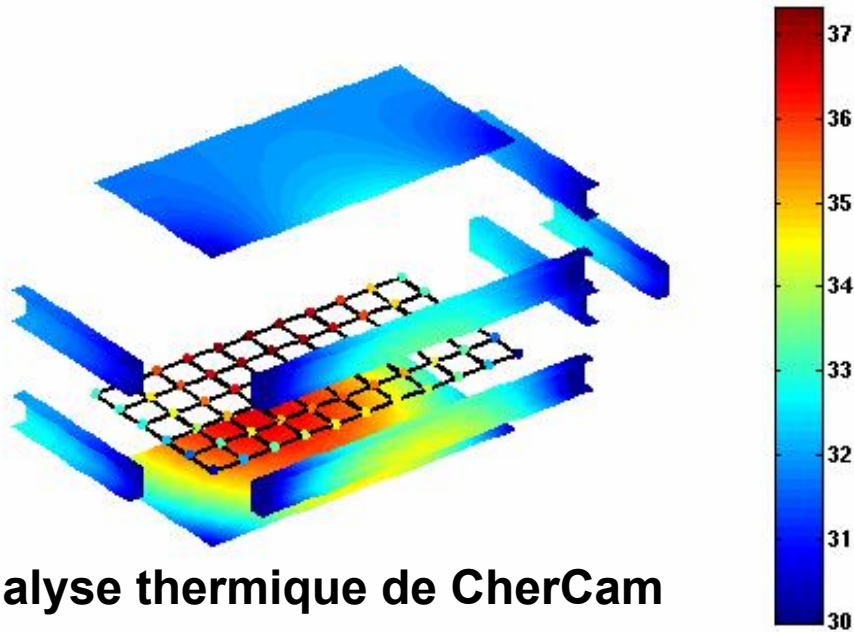
CherCam : Construction



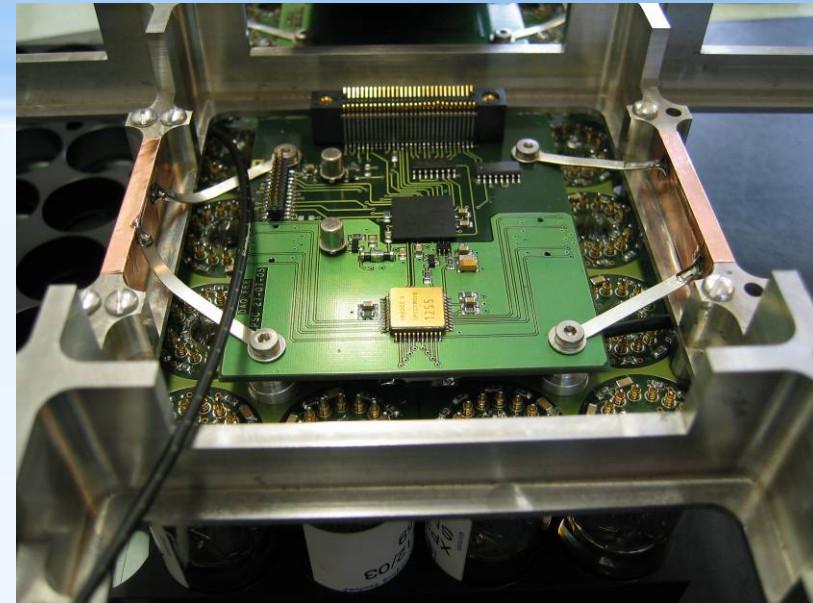
- Contrainte spécifique au vols ballons : Thermique

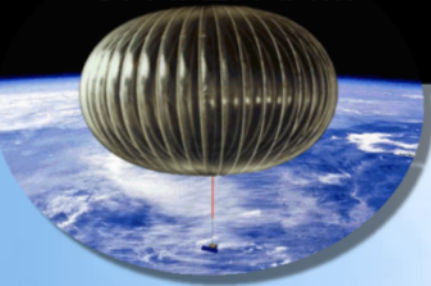
Evacuation de la chaleur du détecteur par conduction

Temperatures in °C



Analyse thermique de CherCam



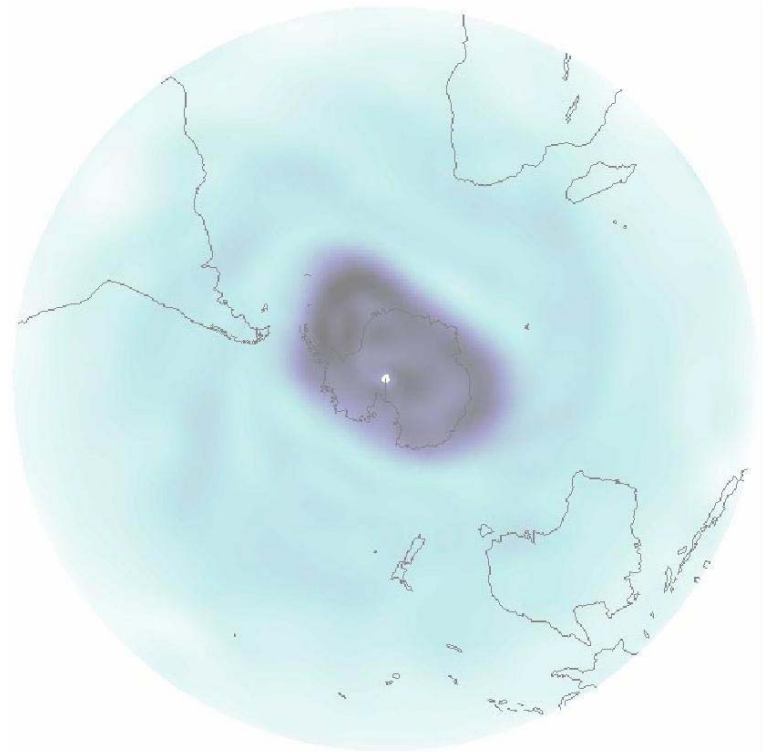


- *Novembre 2005* : Approbation du CS de l'in2p3
- *Année 2006* : Achat des composants, construction du détecteur, intégration
- *Juillet 2006* : Sélection programme blanc ANR
- *Janvier 2007* : Tests, Livraison du détecteur à Washington (UMD)
- *Février-Mai 2007* : Intégration du détecteur dans CREAM
- *Juin-Octobre 2007* : Intégration CREAM sur le payload (Wallops, NASA), expédition antarctique (Mc Murdo)
- *5 décembre 2007* : Ouverture de la fenêtre de vol pour CREAM

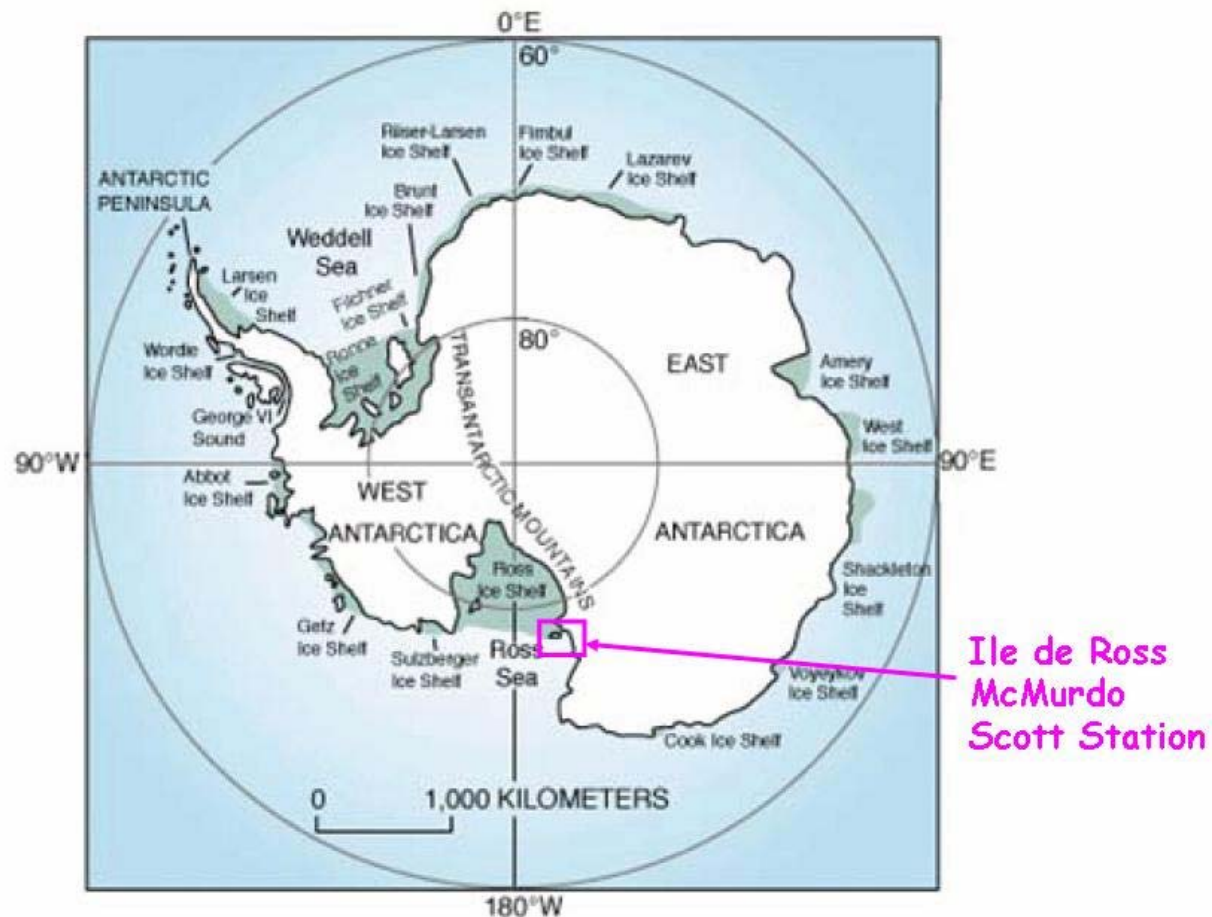


Pourquoi l'antarctique ?

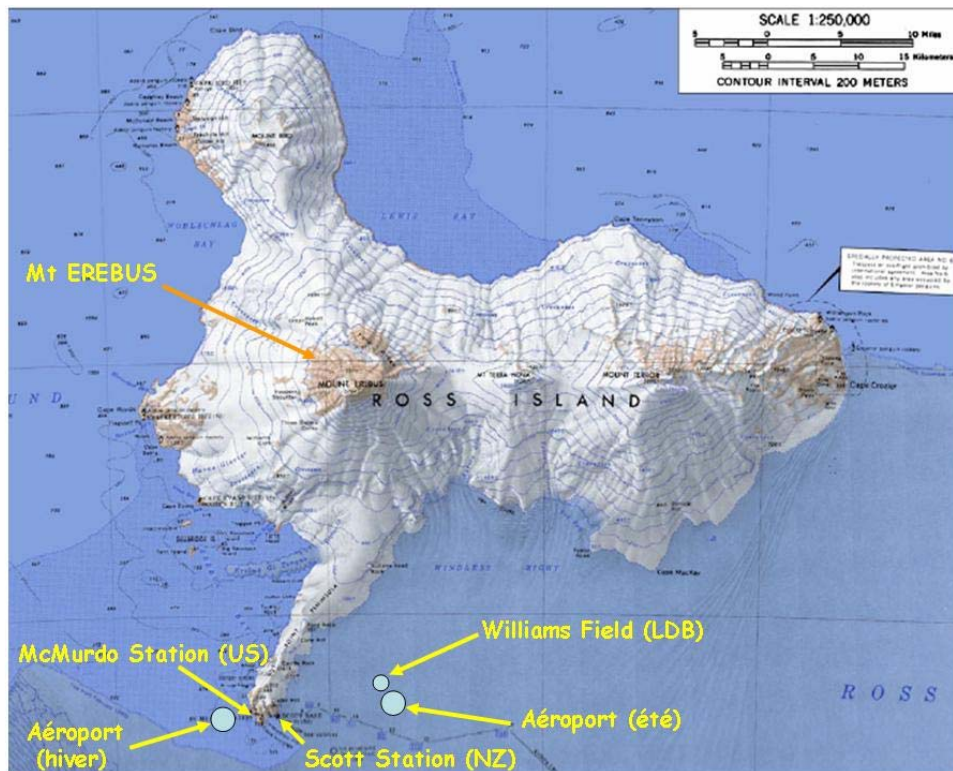
Vortex polaire : cyclone à grande échelle qui se met en place pendant l'été et permet d'assurer une "orbite" stable



Mc Murdo Station



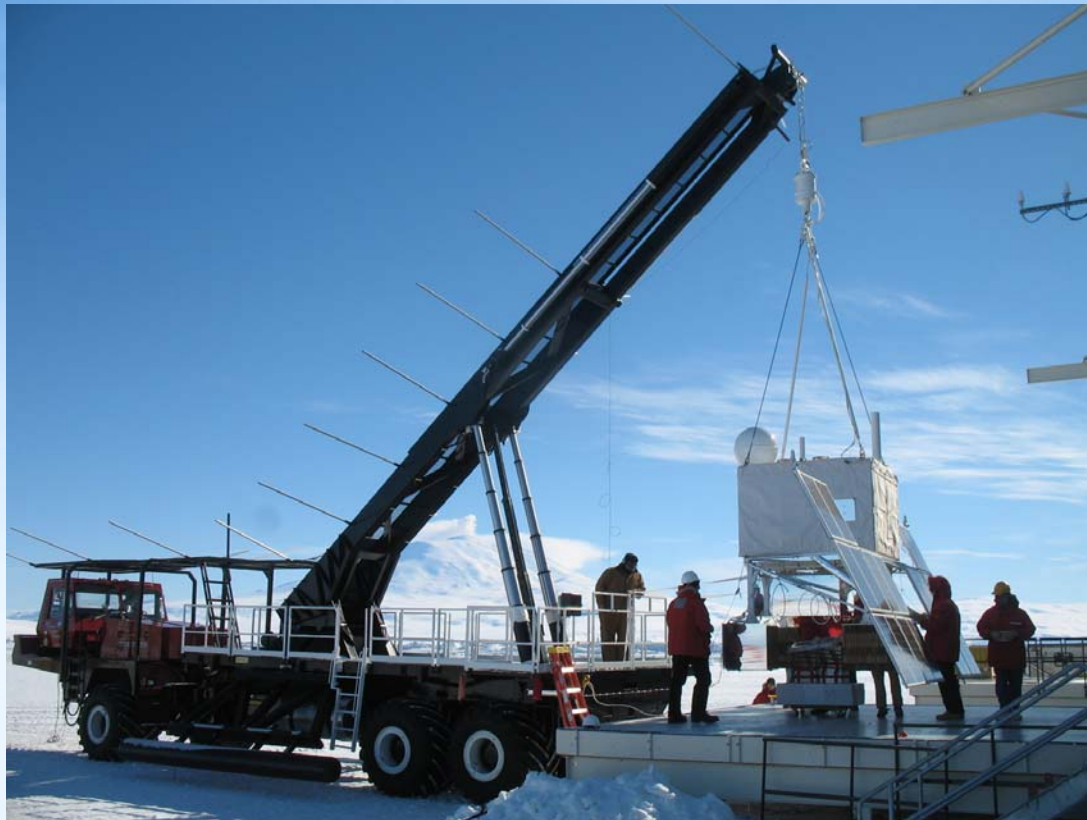
Mc Murdo Station





Base de lancement des ballons LDB







**Lancement de
CREAM-III
effectué le 19
décembre 2007 à
16h20 NZT**

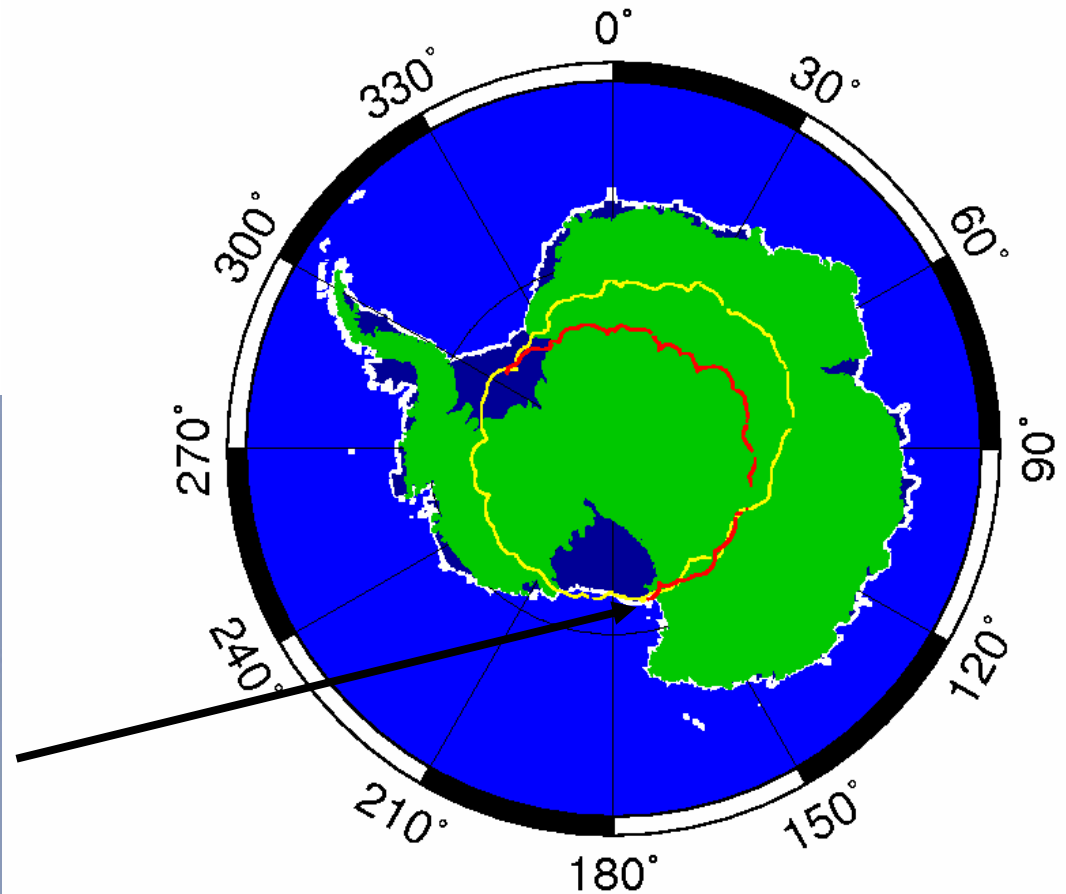




- Déjà 23 jours de vol...



**Survol de McMurdo le 2
janvier 2008 (15 jours de vol)**

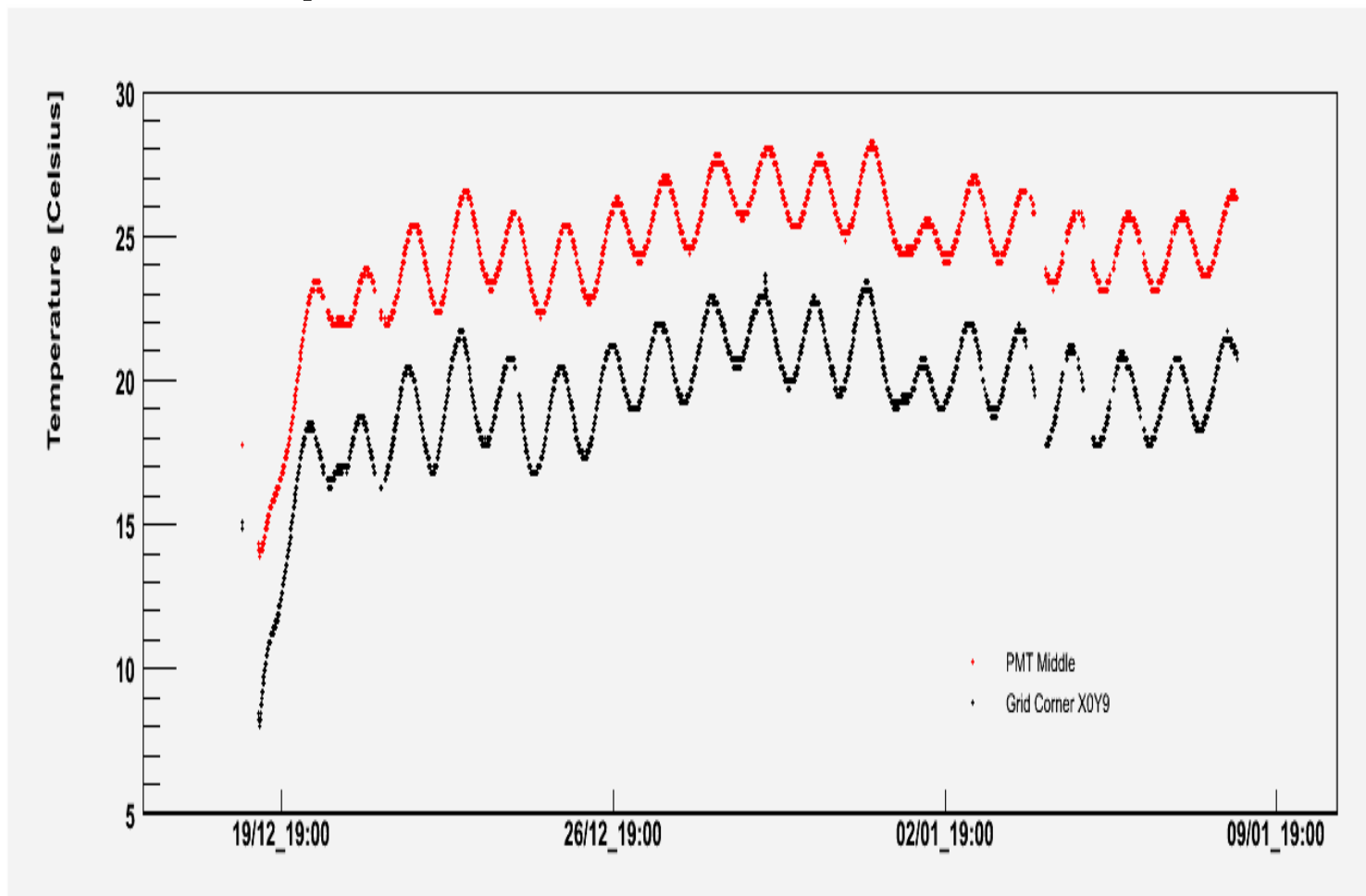


2008 Jan 10 14:15:08

LDB_Antarctica_2007-2008_CREAM

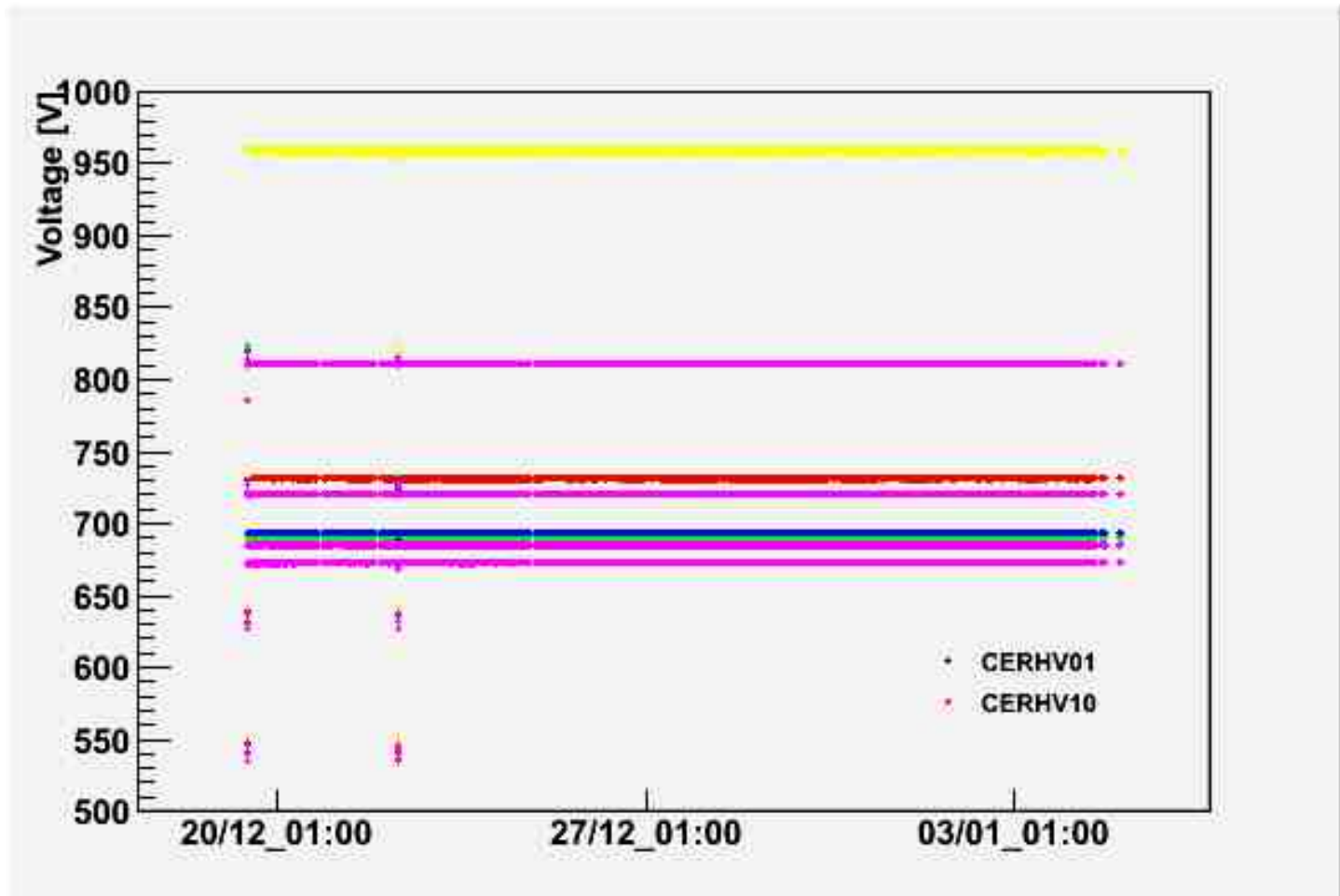


Températures CherCam



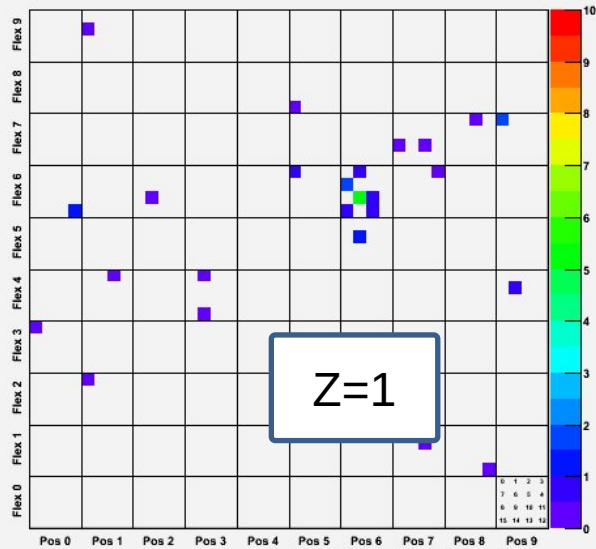


Stabilité des Hautes Tensions

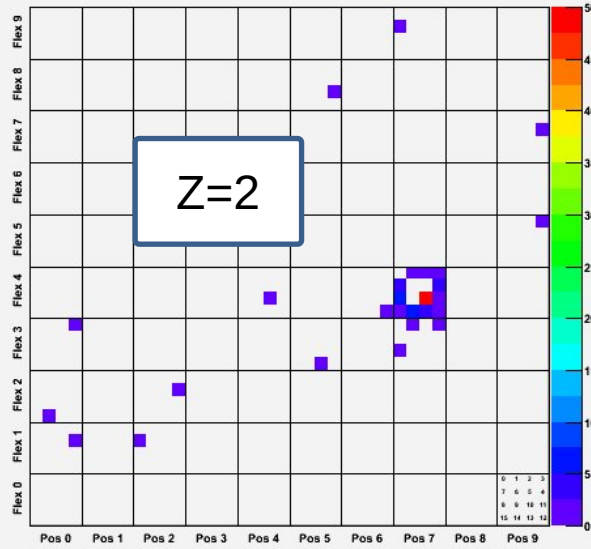


Quelques événements du 23/12/2007- 23h00 GMT

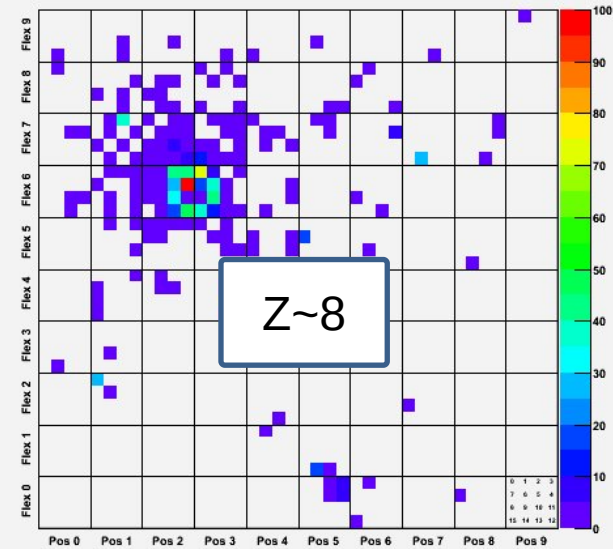
Event nb 40690/47992 of run 0 (mode 0)



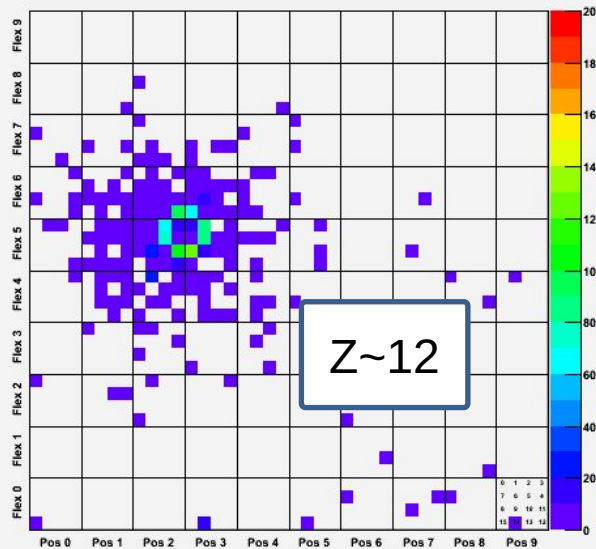
Event nb 40685/47992 of run 0 (mode 0)



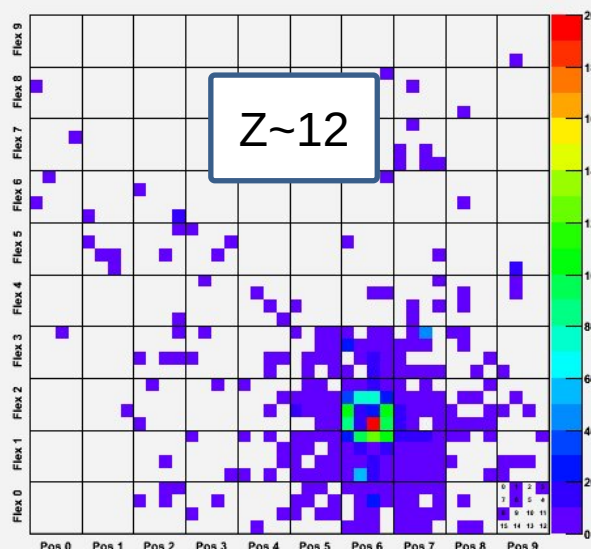
Event nb 40324/47992 of run 0 (mode 0)



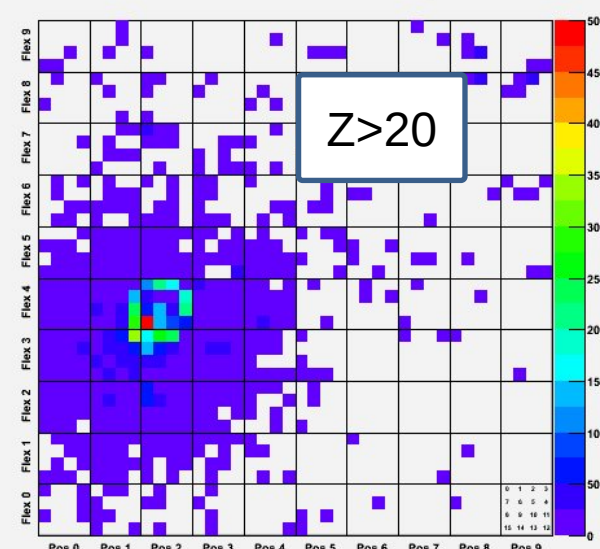
Event nb 40484/47992 of run 0 (mode 0)



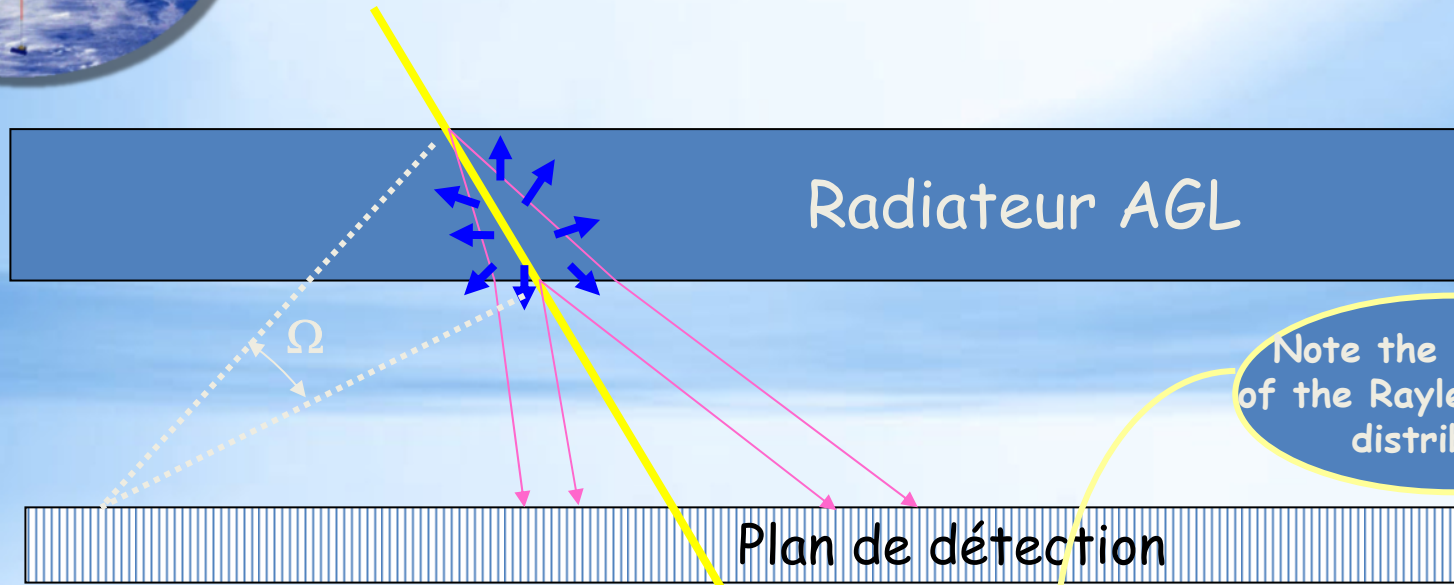
Event nb 40489/47992 of run 0 (mode 0)



Event nb 40949/47992 of run 0 (mode 0)

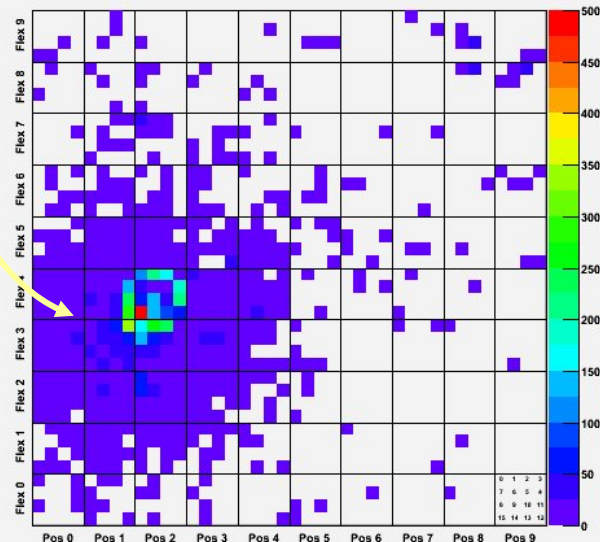


Rayleigh scattering of Cherenkov light



Note the asymmetry of the Rayleigh photons distribution

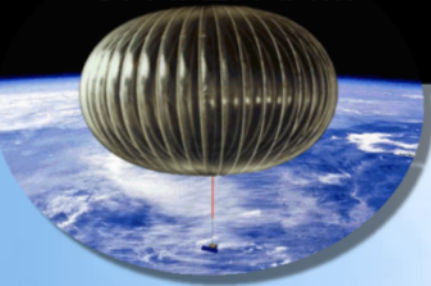
Event nb 40949/47992 of run 0 (mode 0)



Maxi Rayleigh flux where maxi solid angle

Rayleigh scattered fraction of C photons:

$$R = \frac{A\lambda^4(1 - e^{\frac{-CL}{\lambda^4}})}{CL}$$



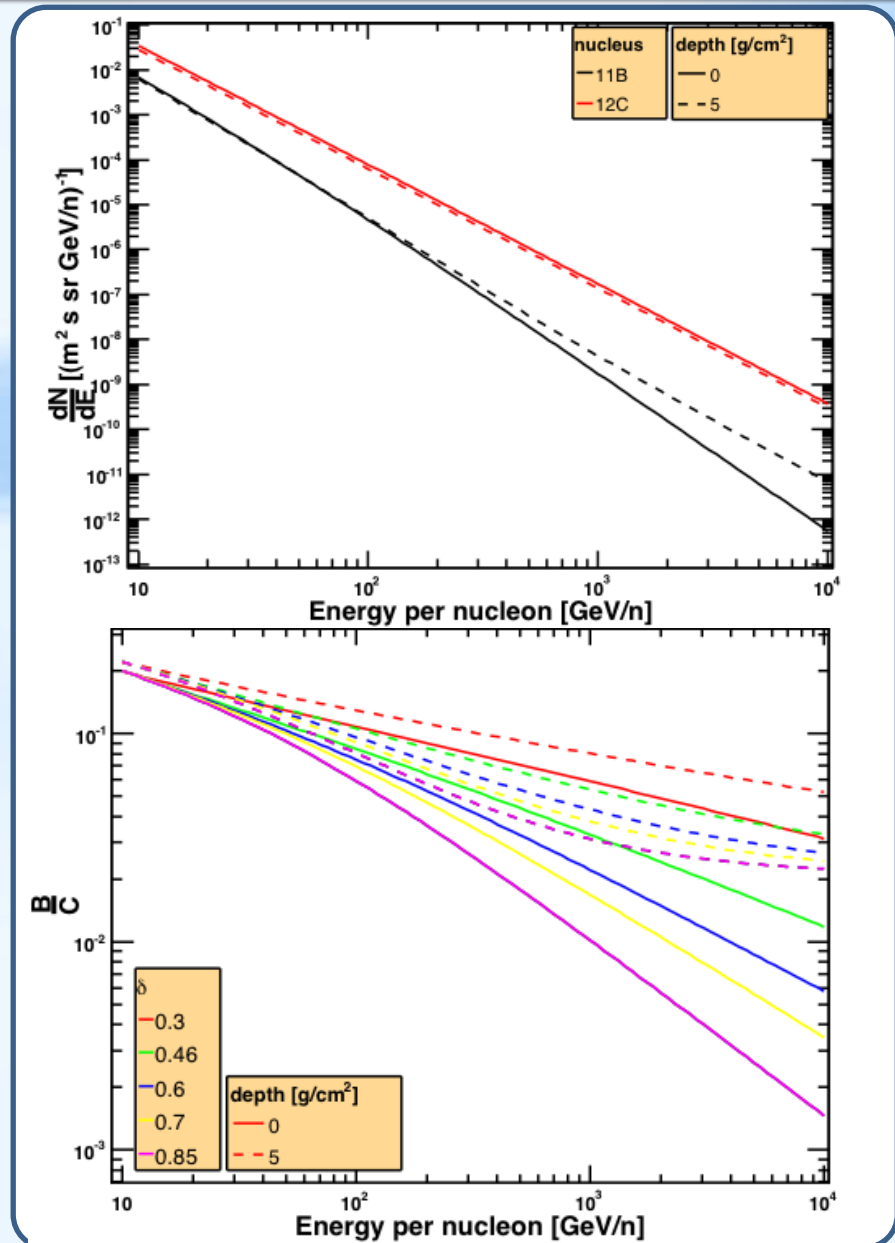
Programme 2008 :

- **Analyse des données du vol 2007-2008**
- **Préparation du vol de CherCam/Cream déc. 2008.**
Récupération - test - reconditionnement - intégration
- **Valorisation des compétences instrumentales acquises : réalisation de nouvelles HT 12 kV pour le calorimètre de CREAM**



Etude de la propagation des ions dans l'atmosphère terrestre :

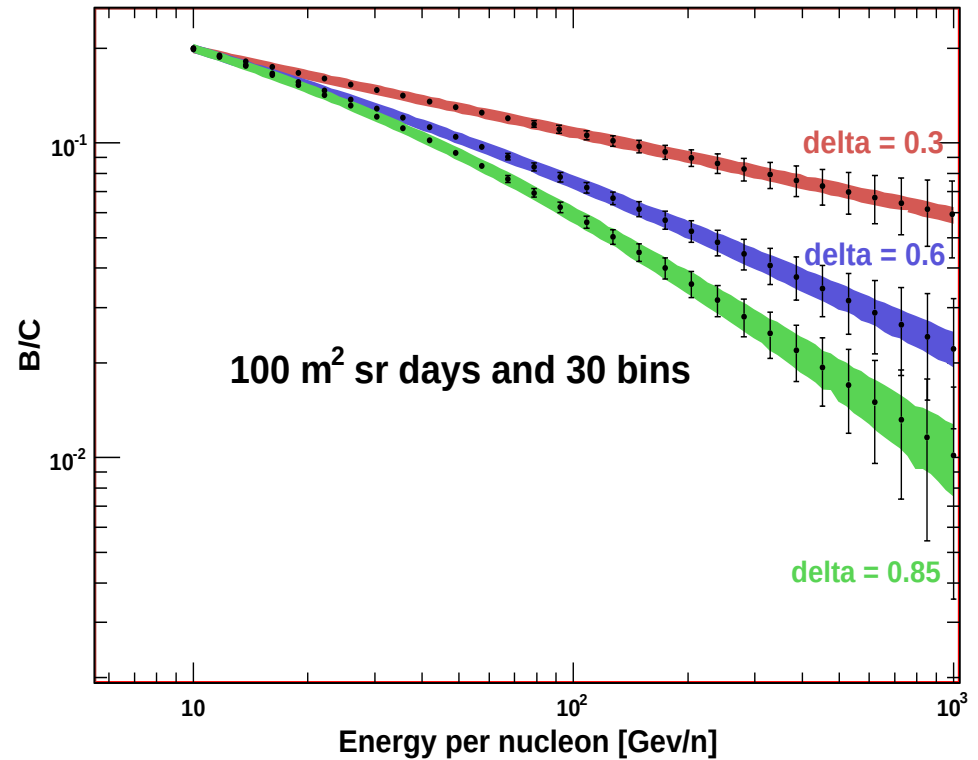
- perte d'énergie
- absorption
- fragmentation





**Reconstruction du flux
TOA (Top of Atmosphere)
et étude des incertitudes
liées aux sections
efficaces de
fragmentation.**

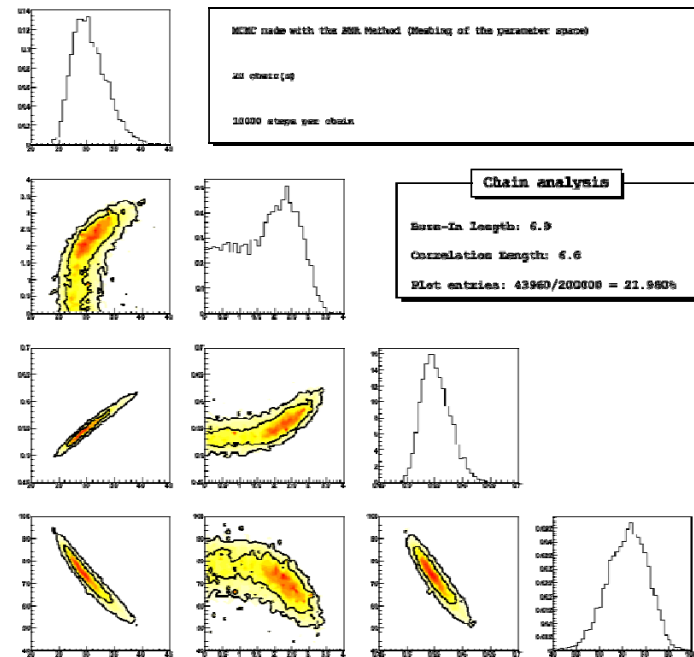
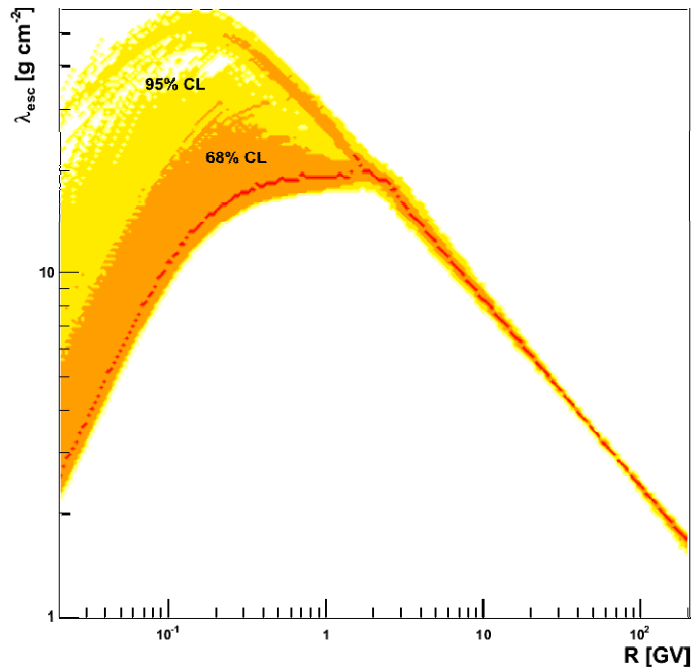
Error study



Contraintes sur les paramètres de propagation

Activité en collaboration avec le LAPTH et LPNHE

- Nouvelles données permettent de mieux contraindre les paramètres
- Nécessité d'un outil bayésien -> MCMC
- Premiers résultats avec le modèle de Leaky-Box



Conclusion



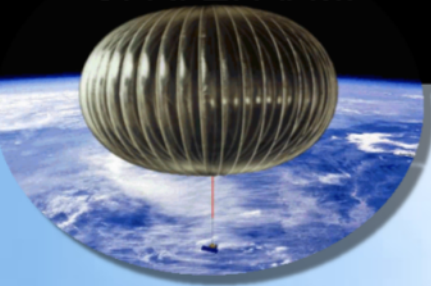
Malgré plusieurs décennies d'observations, l'origine, les processus d'accéléérations et de propagation du RC dans la galaxie ne sont toujours pas élucidés.

➡ Les progrès dans la compréhension de ces mécanismes passent par une approche multi messagers :

X, Gamma, Neutrino et RC chargé

L'observation des éléments du RC dans le domaine d'énergie du TeV au PeV permettra d'améliorer significativement la connaissance de la propagation et des sources du rayonnement cosmique.

Conclusion – suite



Détecteur CherCam :

- **Mesure de charge par effet Tcherenkov pour l'identification des particules**
- **Détecteur construit au cours de l'année 2006.**
- **Premier vol depuis le 19 déc 2007**

Programme 2008 :

- **Analyse des données du vol 2007.**
- **Préparation vols suivants, amélioration de l'instrument,**
- **Valorisation des compétences instrumentales acquises**

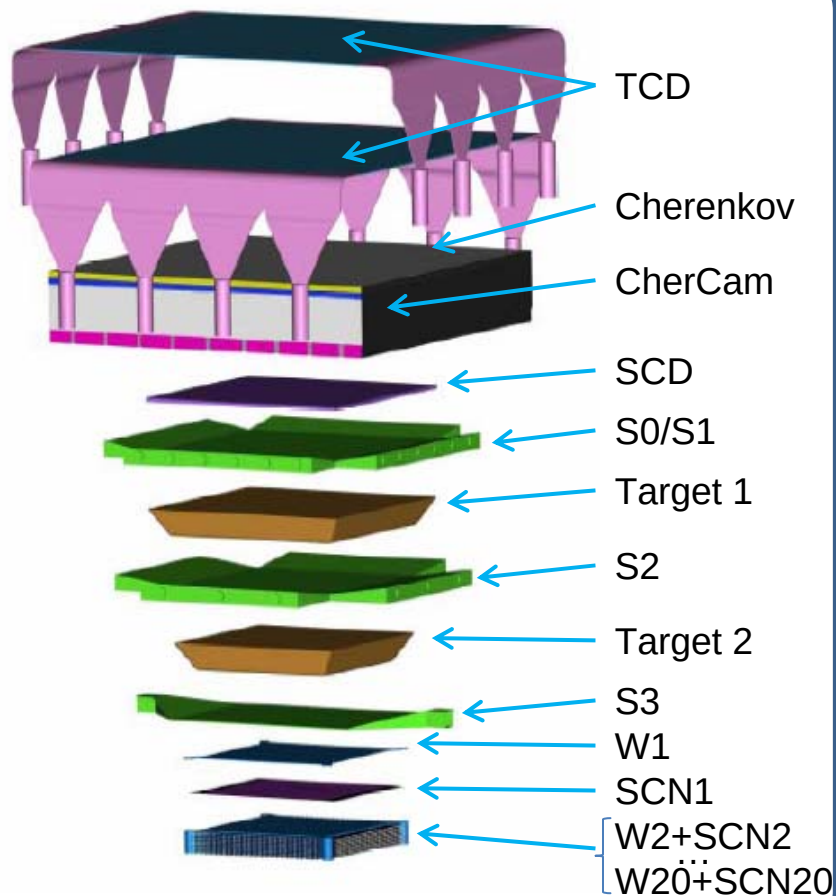


C. R. E. A. M.



cosmic ray energetics and mass

The CREAM III experiment



Redundant and complementary charge identification and energy measurement systems :

- ➔ A Timing Charge Detector (TCD), a Rich (CherCam) and a Silicon Charge Detector (SCD) provide charge measurements
- ➔ Four layers of scintillating fibers (S0/S1) give an additional charge determination, and information on particle trajectories.
- ➔ Another scintillating fiber layer (S3) provides timing reference
- ➔ The energy is determined by a hadronic calorimeter, with a resolution almost constant over the 3 orders of magnitude under