

# Cosmologie et Astroparticules au LPSC

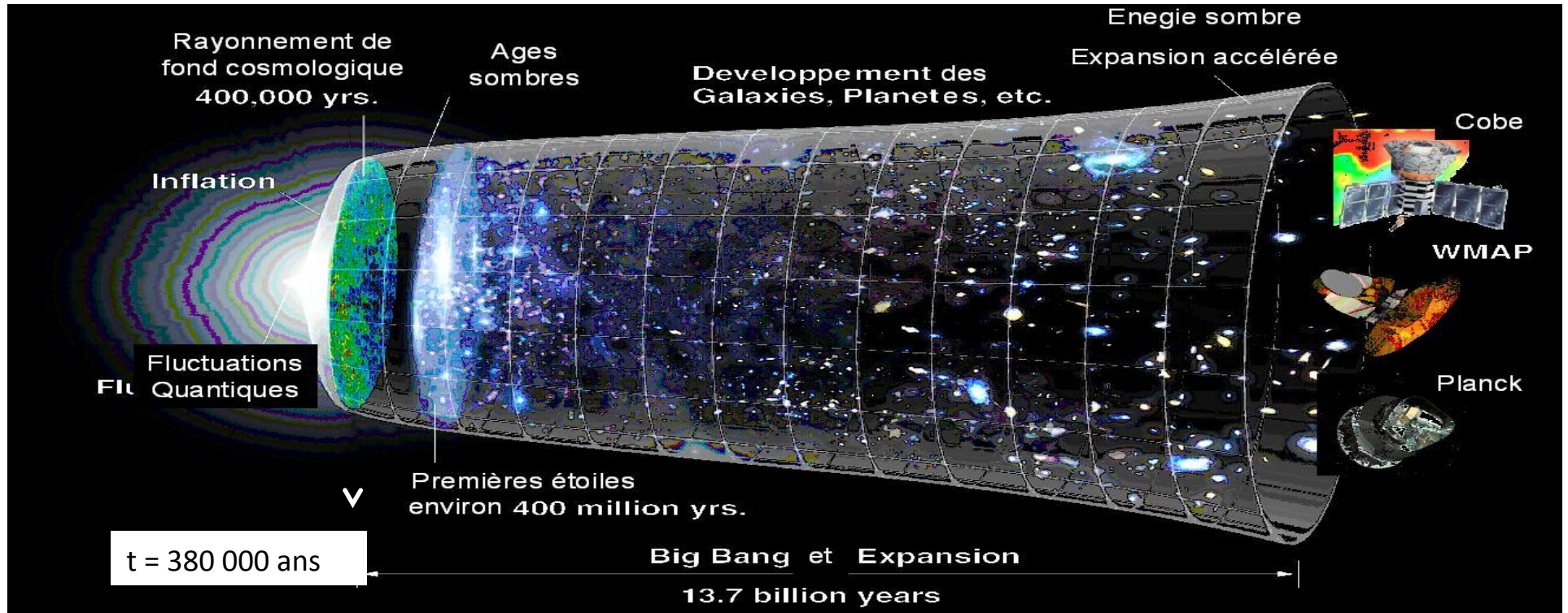
3 Groupes

Archeops (1998-2005) – PLANCK (1999...) – MIMAC (2005...)  
(4 CNRS, 1 Ens-Ch, 2 CDD, 4 Doctorants)

AMS (1996...) – CREAM (2005...) – LSST (2007...)  
(1 CNRS, 2 Ens-Ch, 1 CDD, 3 Doctorants)

AUGER(2006...) – Radiodétection (2005...)  
(6 CNRS, 1 Ens-Ch)

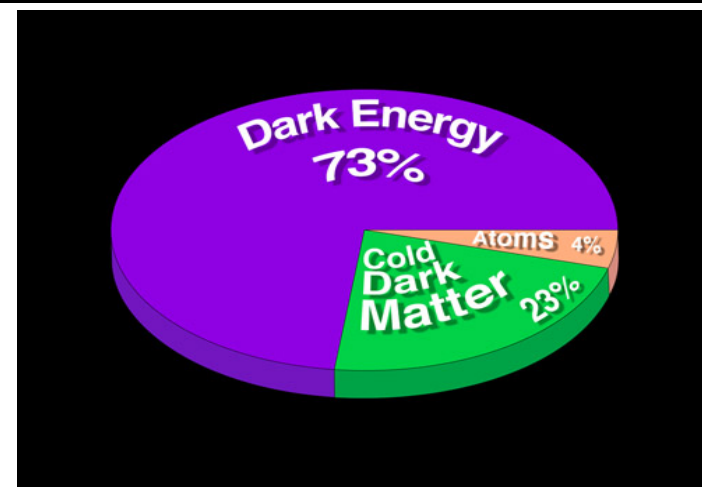
# « Histoire » de l'Univers...



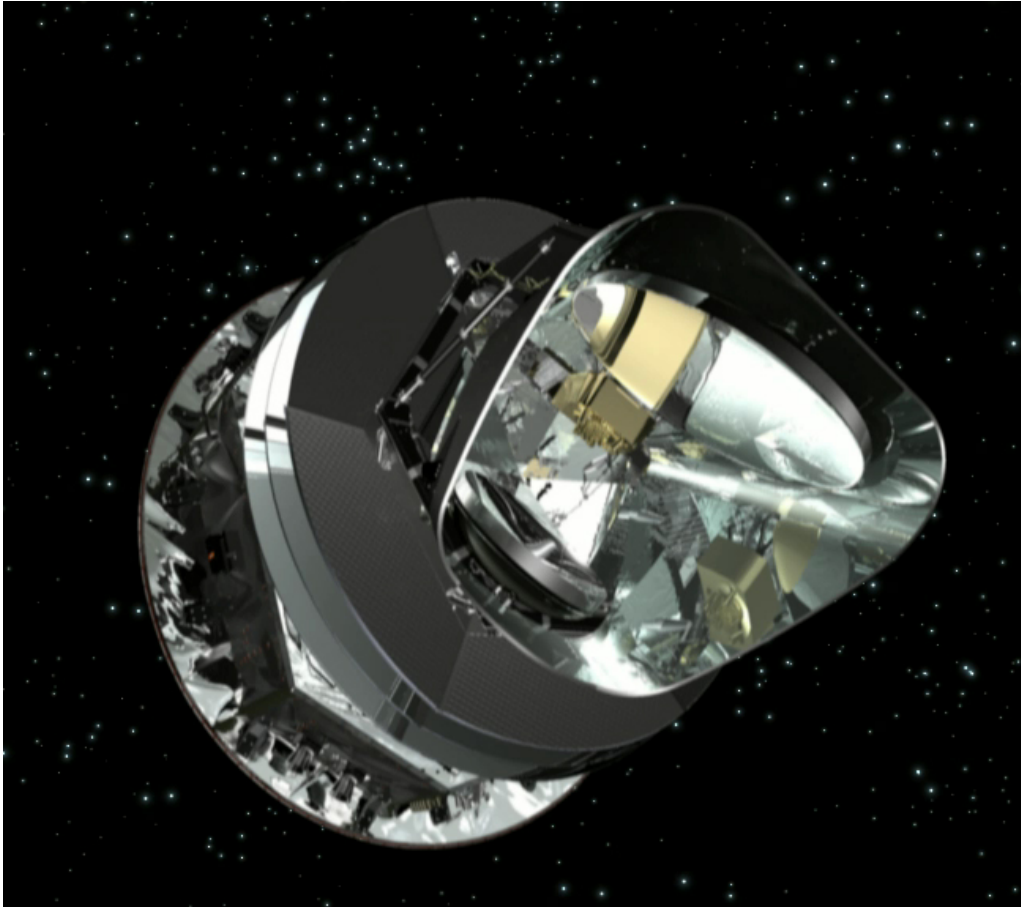
Planck: CMB

LSST: Energie sombre, Matière Sombre

MIMAC: Matière Sombre non-Baryonique (MSnB)

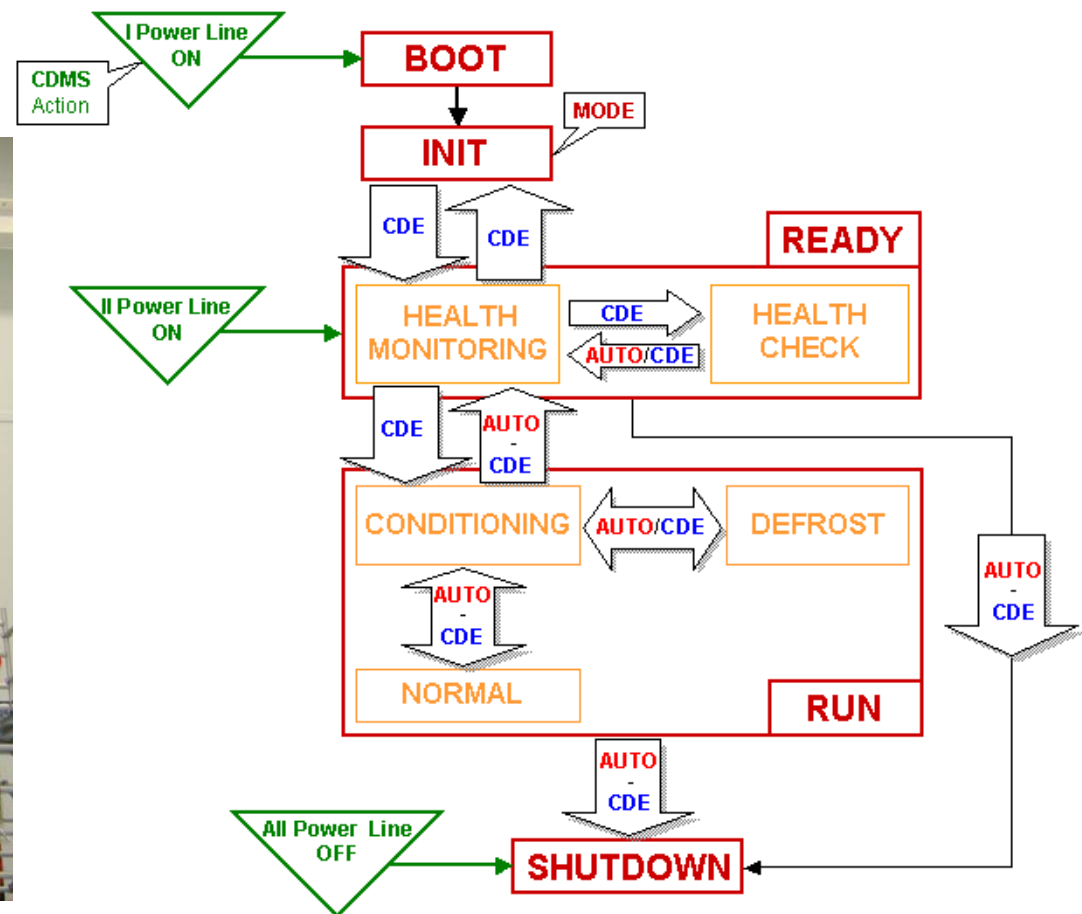


# La mission PLANCK (ESA)



- 2 instruments :
  - LFI : 30-70 GHz (20 K)
  - HFI 100-857 GHz (100 mK)
  
- Planck au LPSC (1999 ...)  
(35 ETP en ITA (1999-2005))  
Services Techniques : Dét.& Inst.,  
Électronique, Informatique,  
Réalisations Mécaniques
  - SCE , son logiciel de contrôle et pilotage et l'interphase avec le satellite
  - DCE
  - Analyse de données de HFI
  - « Physique en relation au CMB
  
- Lancé le 14 mai 2009

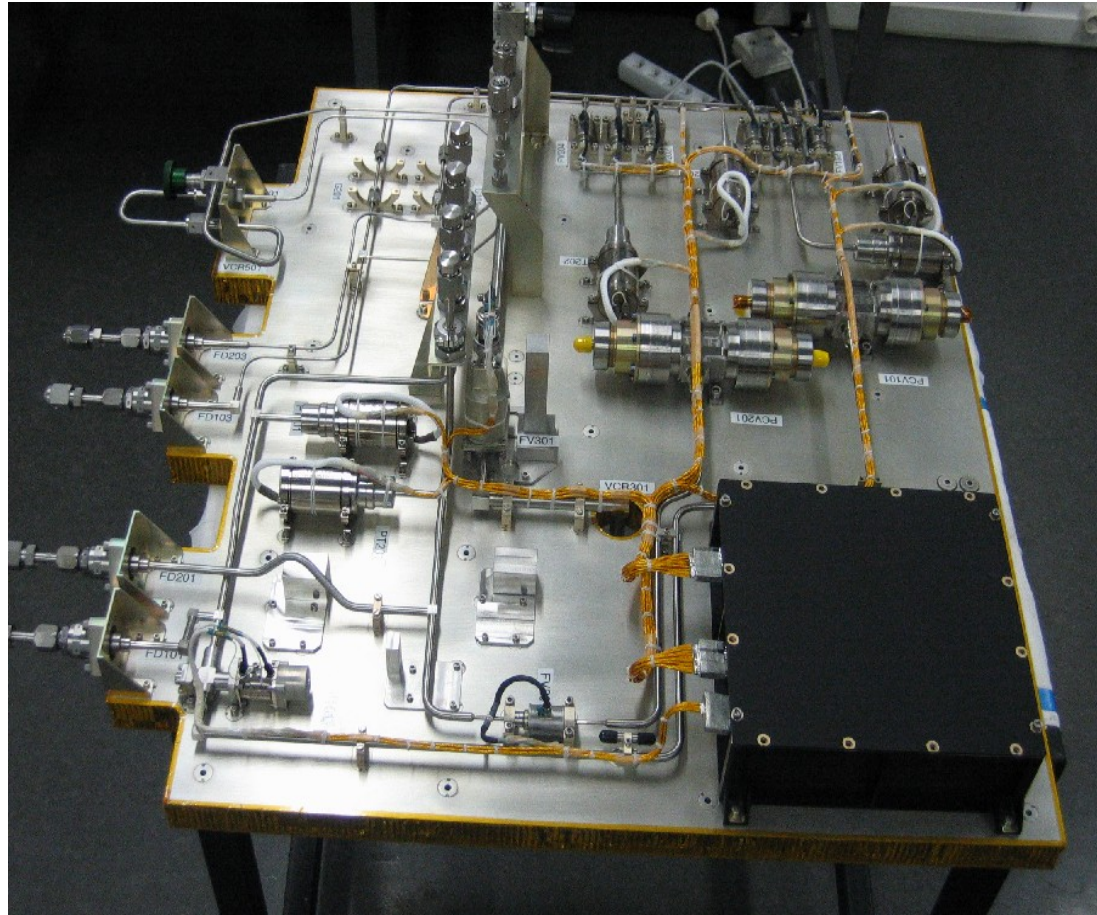
# Sorption Cooler (20K) (JPL – LPSC)

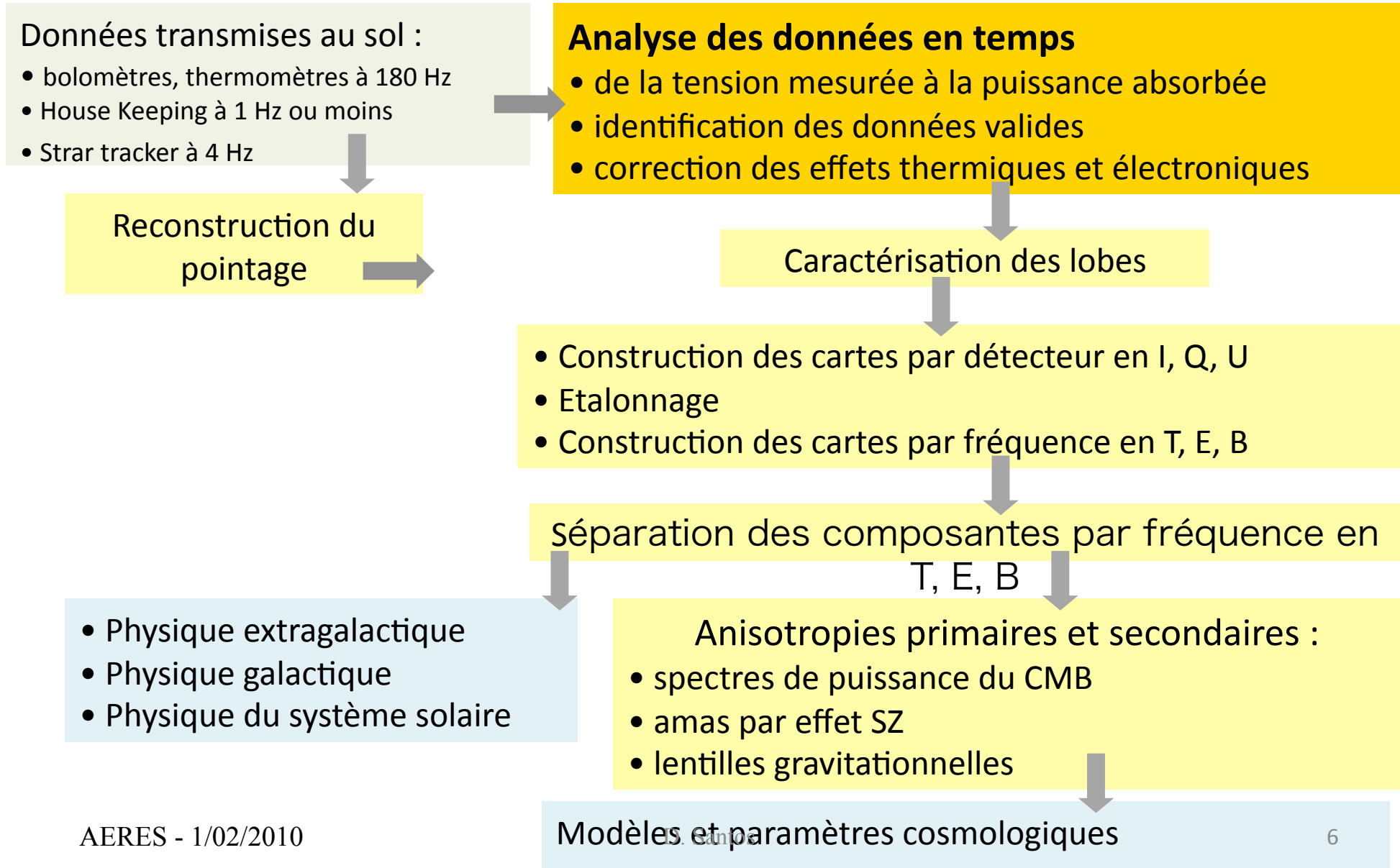


Logiciel de contrôle et pilotage de la SCE (LPSC)



# DCE (Dilution Cooler Electronics) intégrée dans la DCCU

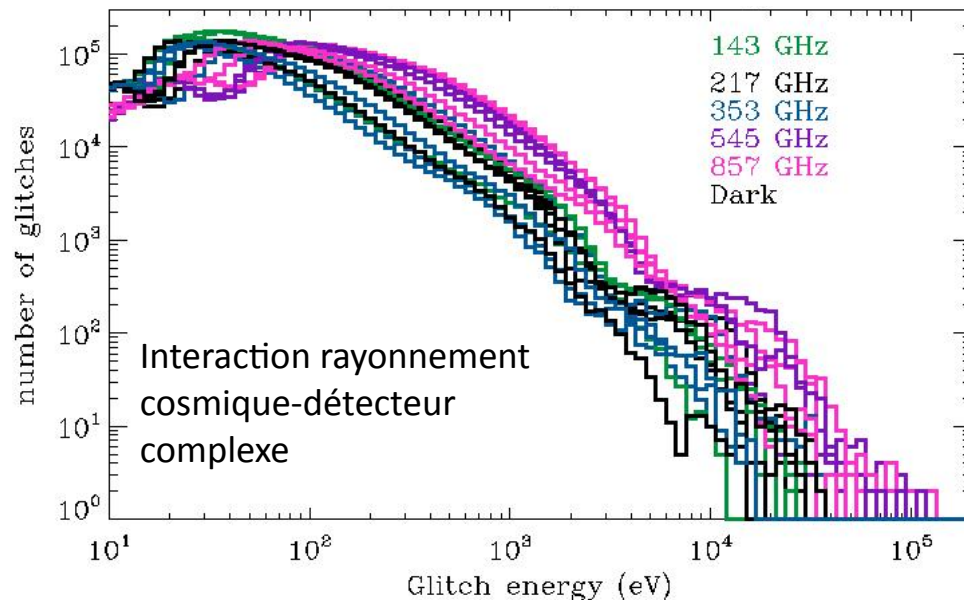
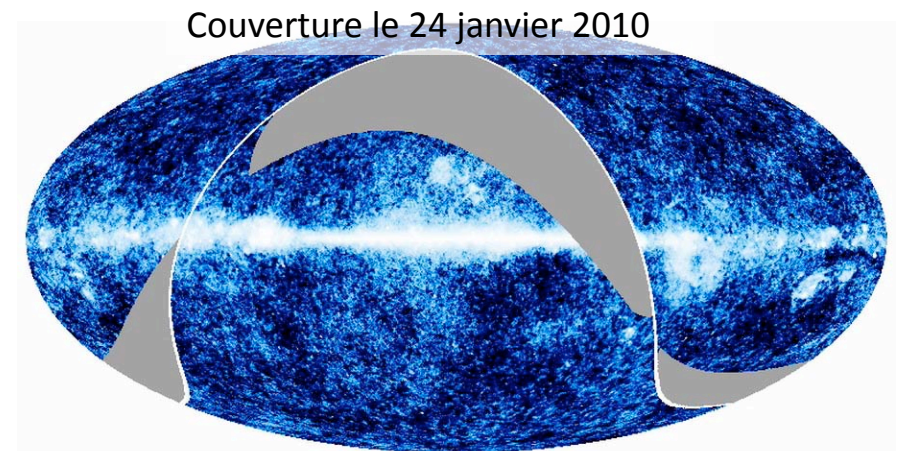




## Responsabilité du LPSC

- Forte implication depuis 2001
- Sélection des effets à corriger et validation des méthodes
- Implémentation des algorithmes
- Intégration en pipeline
- Travail en interaction forte avec les autres acteurs de l'analyse (IAP, LAL, IC, IAS etc)

- ✓ Données analysées de juillet 2009 à janvier 2010
- ✓ Près de 3 milliards de mesures par détecteur
- ✓ Planètes extérieures observées
- ✓ 95% du ciel observé mi-février



AERES - 1/02/2010

D. Santos

- Fonctionnement nominal des instruments
- Résultats confidentiels, mais les Planckiens ont le sourire
- Travail très important en 2009 et 2010 (signaux parasites produits par le rayonnement cosmique, effets thermiques, effets électroniques)



# L'avenir... pour la polarisation du CMB

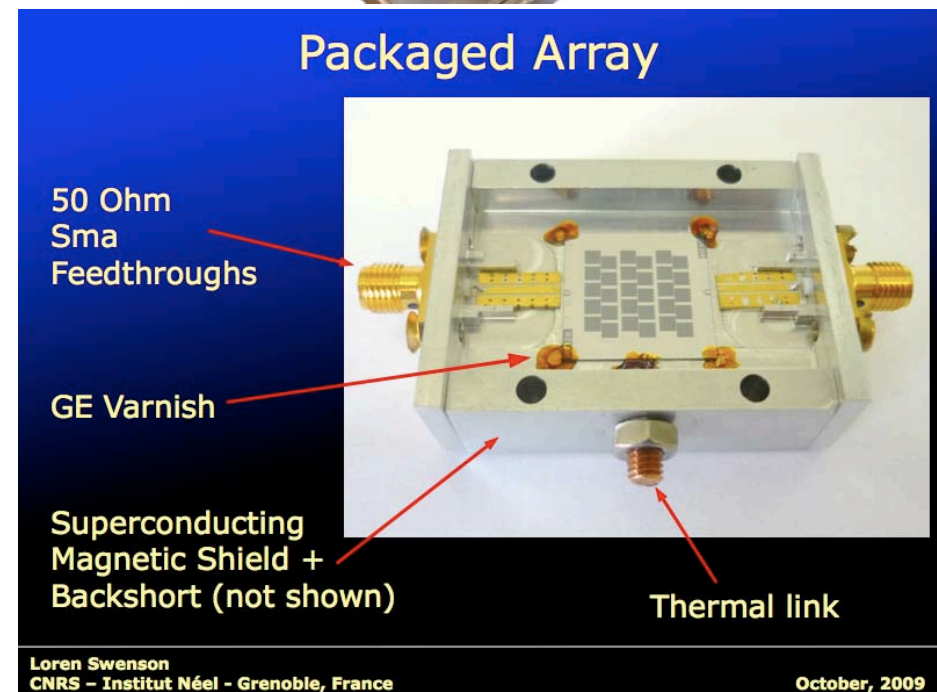
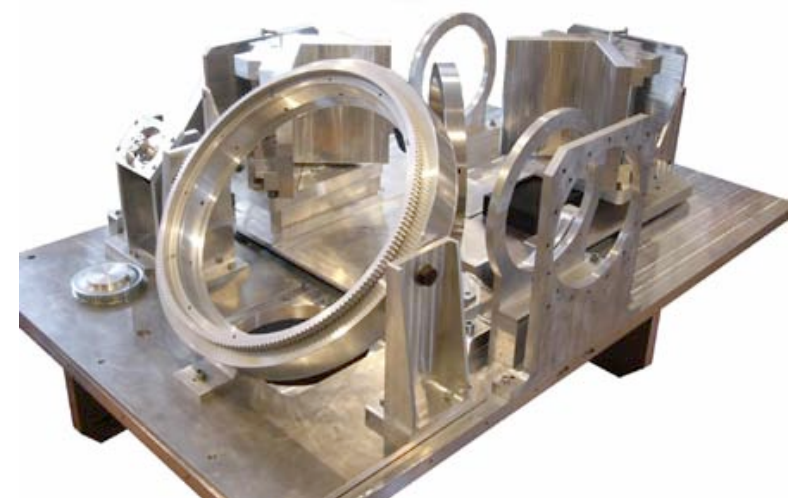
## Matrice de KIDs (Kinetic Inductance Detectors)(MKIDs)

**Objectif:** Détection de modes B de la polarisation du CMB

Dans le cadre de la collaboration DCMB (Développement Concertée de Matrices de Bolomètres)

LPSC a construit un interféromètre Martin-Peuplet afin de caractériser les matrices bolométriques.

LPSC a la responsabilité de l'électronique du Read-out de MKIDs et l'analyse en ligne.





### **Anisotropies en polarisation des émissions d'avant-plan (synchrotron et poussière)**

J.Aumont, J.Macías-Pérez MNRAS 376 (2007)39, J.Macías-Pérez et al. ApJ (2010)

### **Contraintes sur la non-gaussianité de données CMB**

(en collaboration avec Univ. de Santander (Espagne))

A.Curto et al, A&A 486 (2008) 383

### **Etude des perturbations de la métrique sur le Pre-heating**

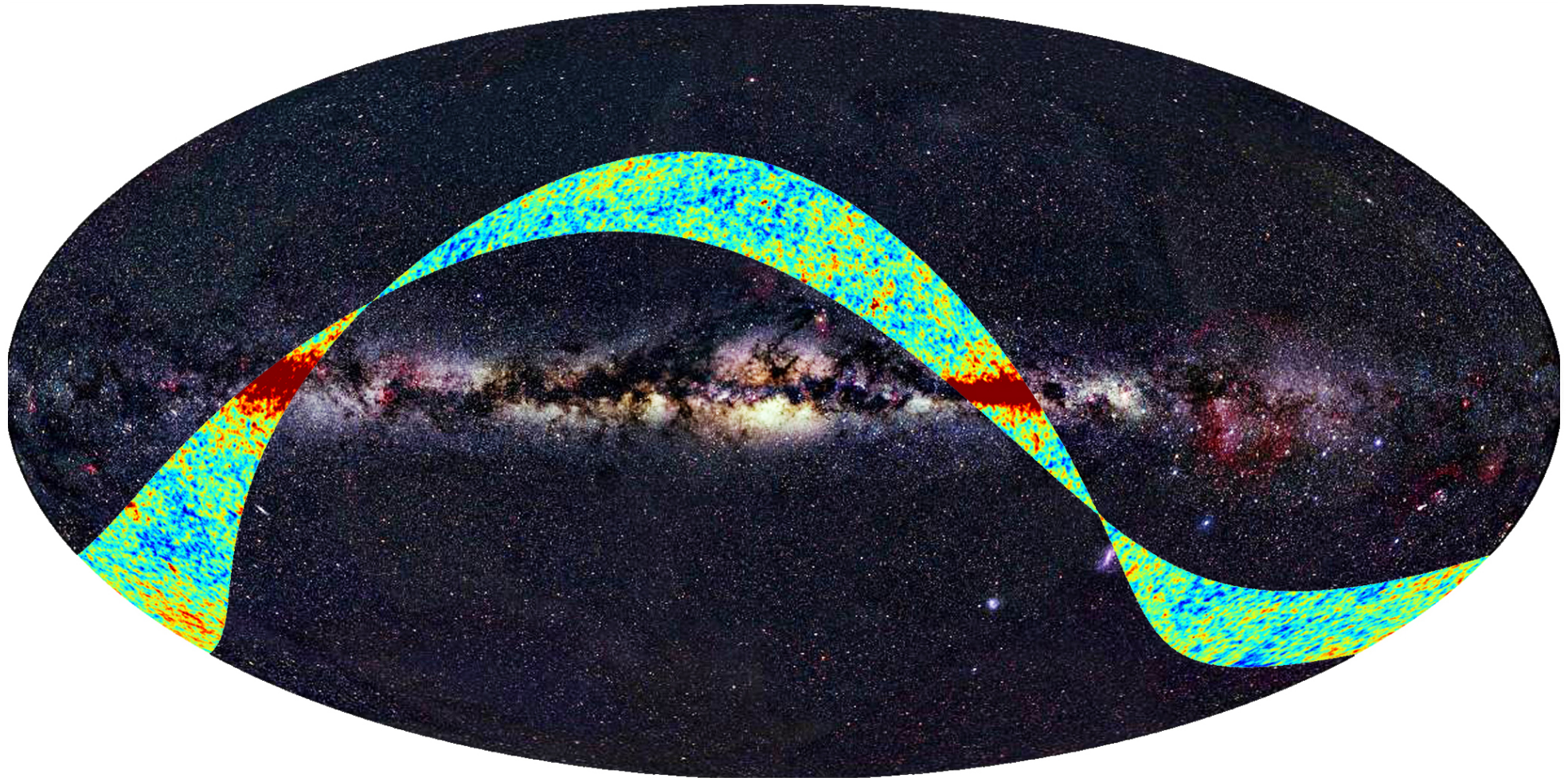
(en collaboration avec Univ. de Grenade (Espagne))

M. Bastero-Gil et al. Phys.Rev.D77,23520 (2008)

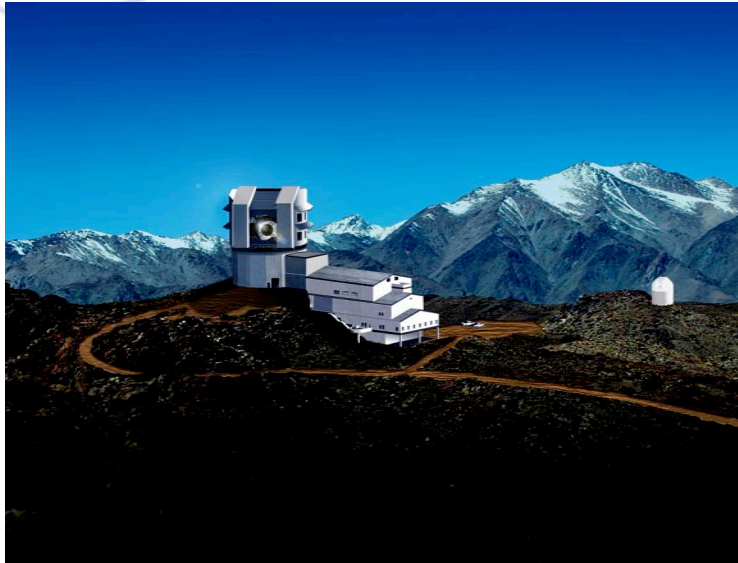
### **Reconstruction de l'effet de lentille gravitationnelle sur le CMB avec Planck.** L.Perotto et al. arXiv:0903.1308 (A&A)

# La première lumière de Planck

17/09/2009



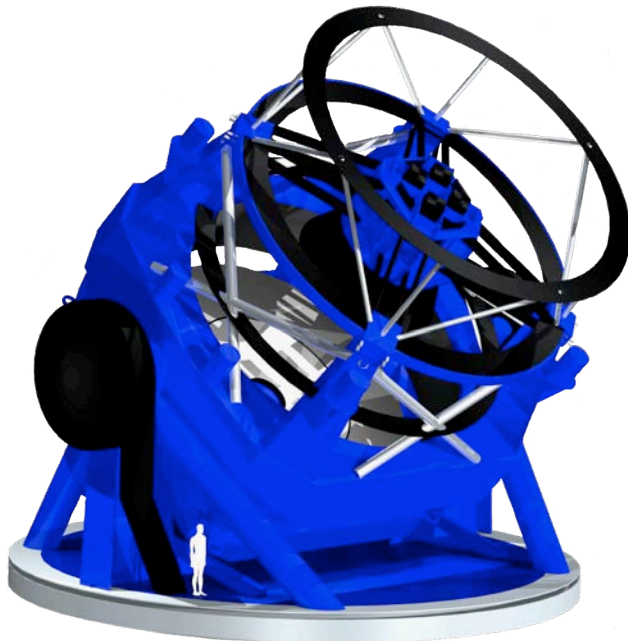




Physique:

- Energie noire (BAO, weak lensing, SNIa)
- Matière noire
- Grandes structures
- Objets variables
- Astéroïdes, etc.

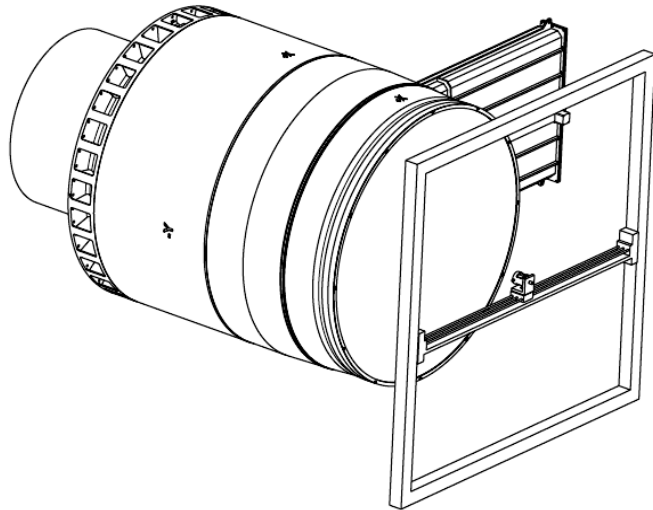
**Instrument "ultime" pour l'imagerie  
grand champ au sol**



- Miroir primaire : 8m
- Champ de vue :  $\sim 10 \text{ deg}^2$
- 6 filtres dans le visible :  
320 nm  $\rightarrow$  1100 nm
  - poses de 20 sec
- Tout le ciel (accessible depuis un point) est vu dans au moins 2 bandes en moins de 2 semaines

Ressources : NSF, DOE, fonds privés, IN2P3

## 1) Conception du banc d'étalonnage de la caméra intégrée (CCOB)



Vue isométrique  
Echelle : 1:20

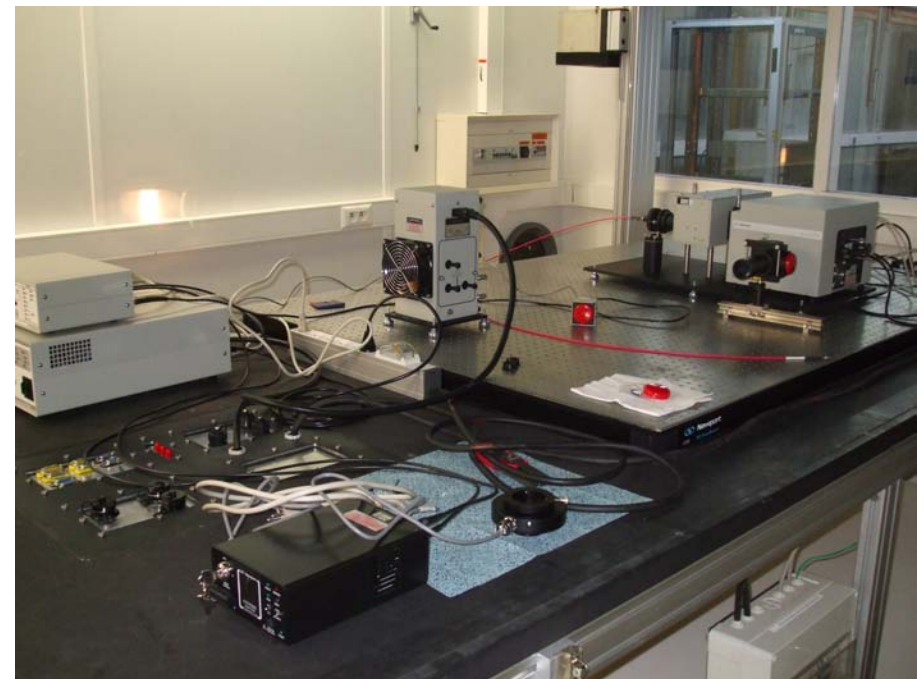
### Responsabilité du CCOB qui permettra:

- mesure de l'uniformité du plan focal (étalonnage à 0.2 %)
- mesure de la lumière diffusée dans la caméra
- étude des « fantômes »
- commissioning de la caméra avant installation
- Première lumière

### Déjà réalisé:

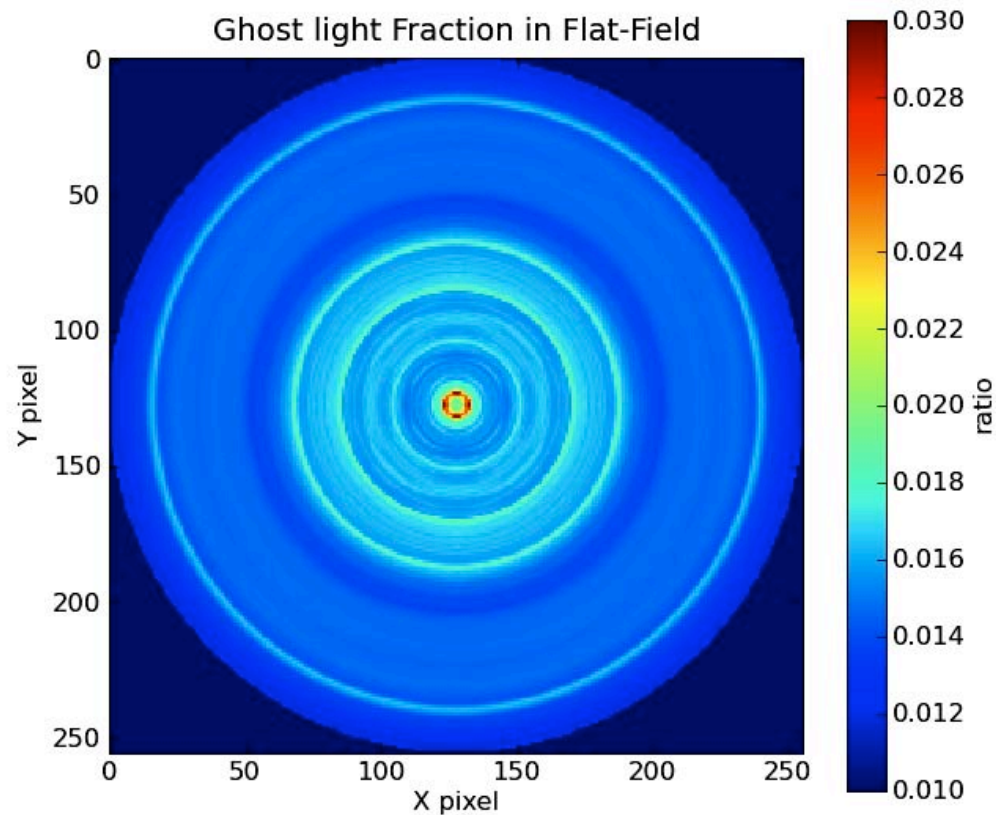
- design global du CCOB
- mise en place d'une salle propre
- début d'étude du contrôle commande
- prototype en cours

→ à livrer en 2014 à Stanford





2) Simulation détaillée de la caméra couplée au télescope : propagation dans les 3 lentilles, filtres et CCD



- conséquences pour le « champ plat »

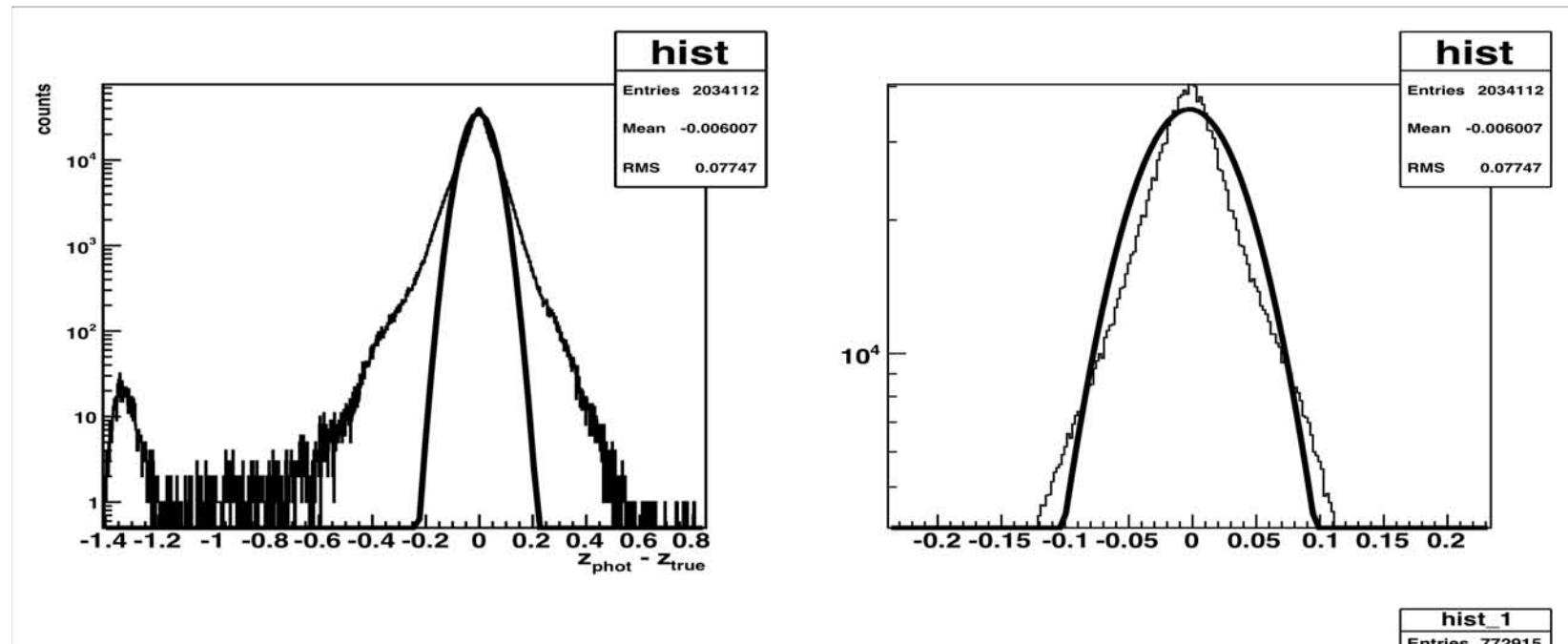
- Conséquences pour l'analyse des données physiques

→ Mise en évidence de la nécessité d'une « déconvolution »

## 3) Reconstruction des redshifts photométriques → BAO

Collaboration avec le LAL.

- choix d'un spectre primordial
- génération d'une distribution de galaxies
- reconstruction des décalages spectraux
- reconstruction du spectre initial et de l'échelle des BAO avec LSST



1) Au niveau international (début opérations 2015):

- soutien NSF et DOE. Fonds privés.
- miroir principal achevé
- Preliminary Design Revue (PDR)  
(en 2010)



2) Au niveau national :

- labos in2p3: LPNHE, LPSC, LAL, APC, LMA, CCIN2P3 + réflexion CPPM
- TGE démarre en 2010
- MOU signé

3) Au niveau local (LPSC) :

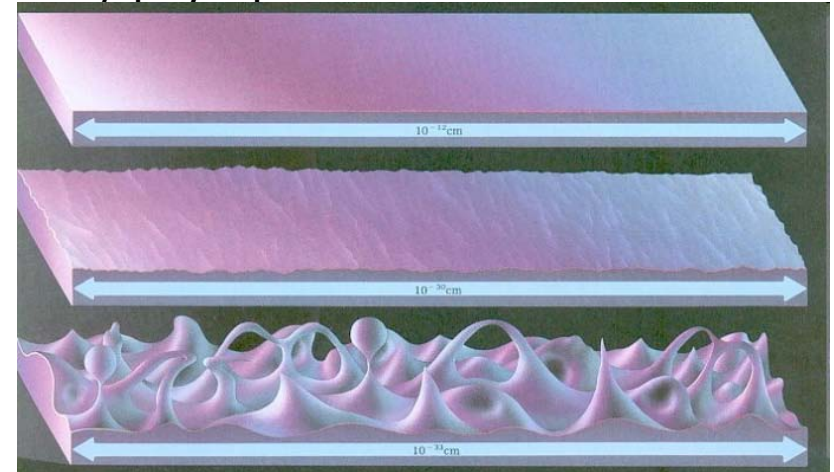
- soutien de l'Université (financement : 25 kE)
- coordination technique nationale de LSST (C. Vescovi)
- Services Techniques: Détecteurs et Instrumentation, Électronique

# Théorie et phénoménologie

1) Formalisme général pour les champs quantiques en cosmo / physique des trous noirs

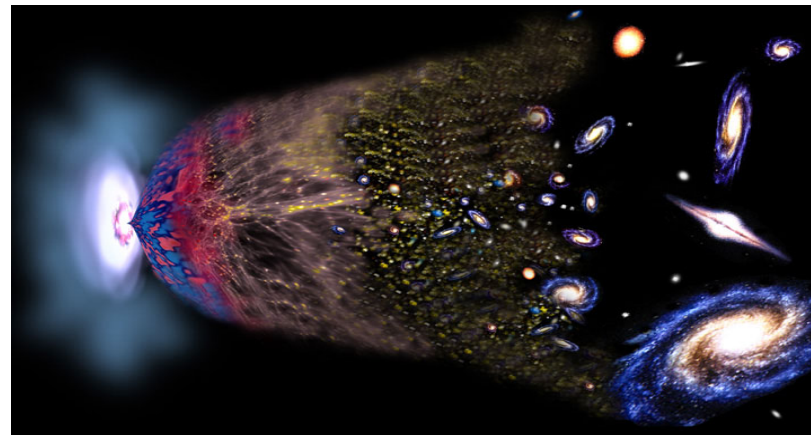
2) Univers primordial

3) Cosmologie quantique à boucles  
(théorie et conséquences observationnelles)



12 articles publiés dans des revues de rang A sur 2006-2009

*Collaborations: IHES, univ. Oxford, univ. Moscou, LAPTH-Annecy, LPTA-Montpellier, IAS-Orsay, Univ. Krakovie*





# MIMAC

## Micro-tpc MAtrix of Chambers

**Une grande TPC pour la détection directionnelle de matière sombre non baryonique**

LPSC (Grenoble) – IRFU (Saclay) – IRSN (Cadarache)

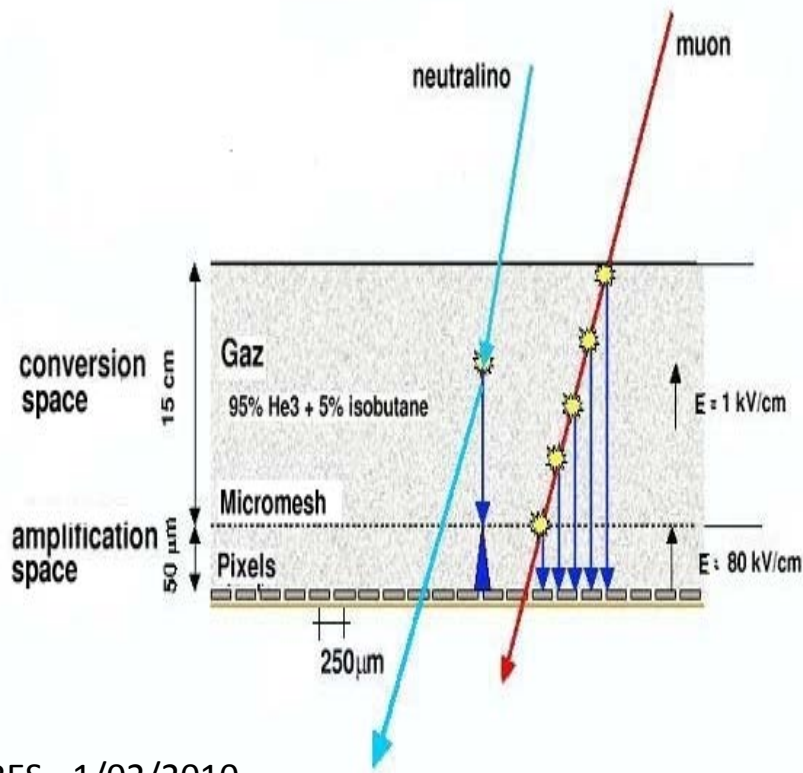
Services Techniques (LPSC):

Détection et Instrumentation, Électronique, Réalisations Mécaniques, Source d'ions

# Détection directionnelle de MSnB

Le système solaire tourne autour du centre galactique à travers un halo de MSnB, vers la constellation du Cygne.

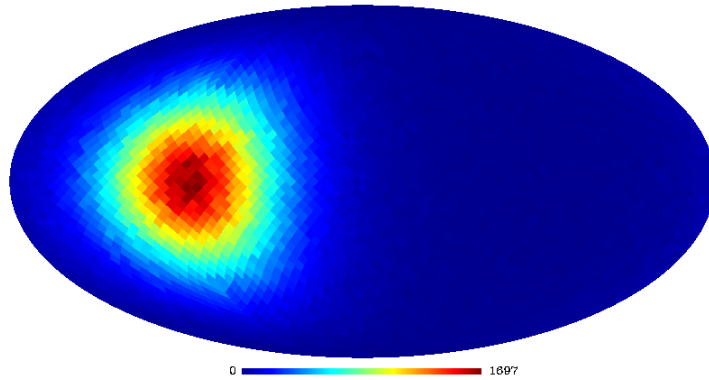
La “seule” signature capable de différencier de WIMPs provenant du halo galactique



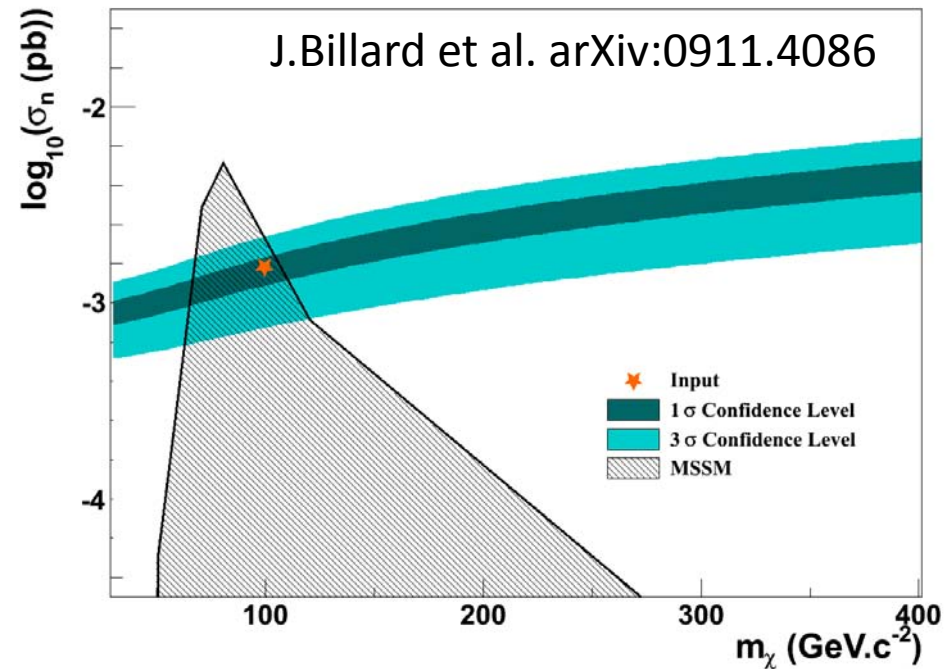
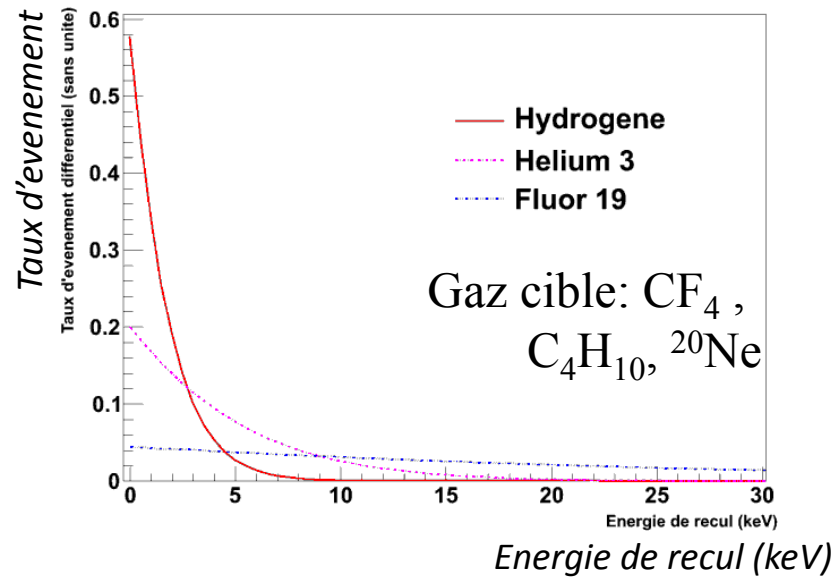
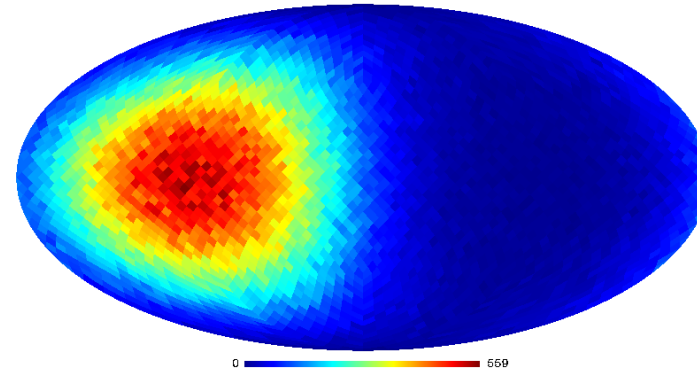
Double détection :  
**Energie en ionisation**  
**ET**  
**la trace 3D du recul**

# Simulation des reculs dans MIMAC

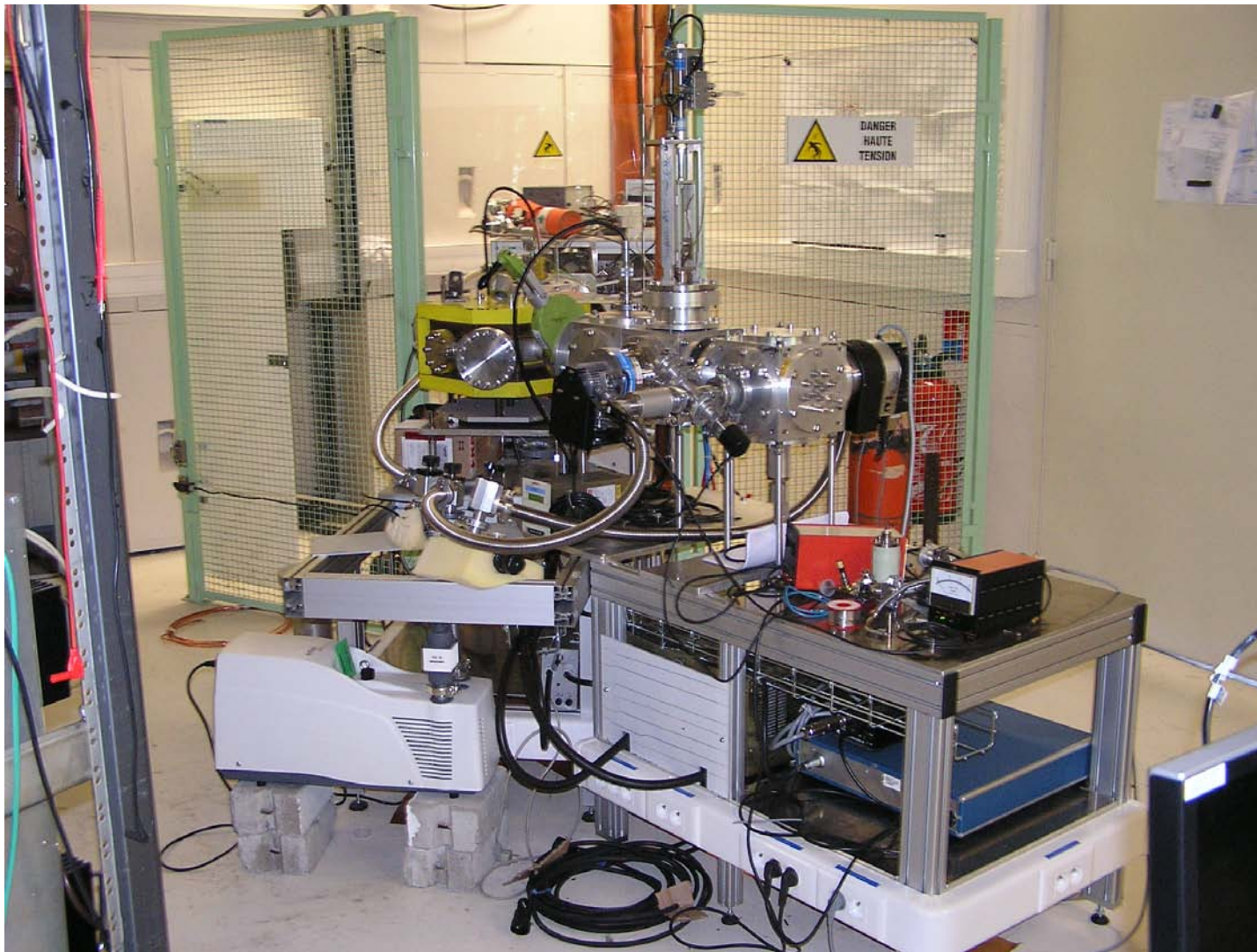
WIMP flux



Recoil events (He, M=20 GeV)

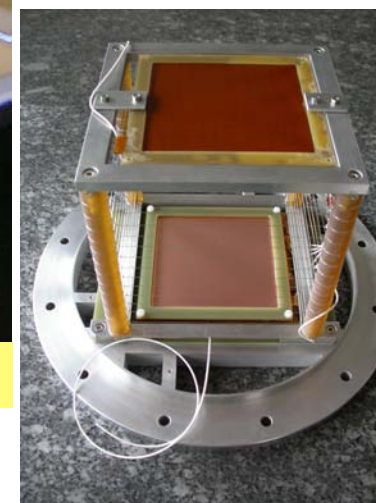


# Mesure du facteur de « quenching »



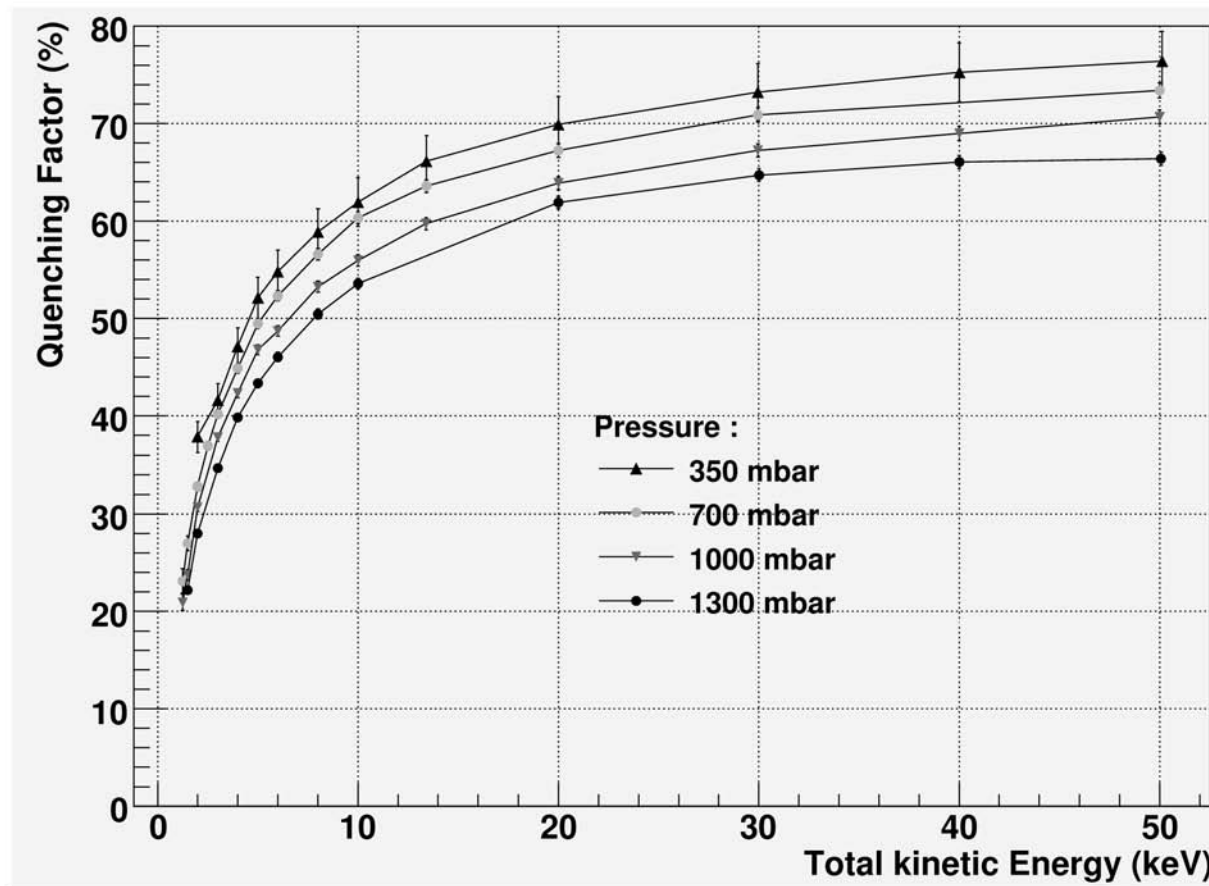
- Source d'ions  
(ECRIS) 1 à 50 keV

**Micromegas  $\mu$ TPC**

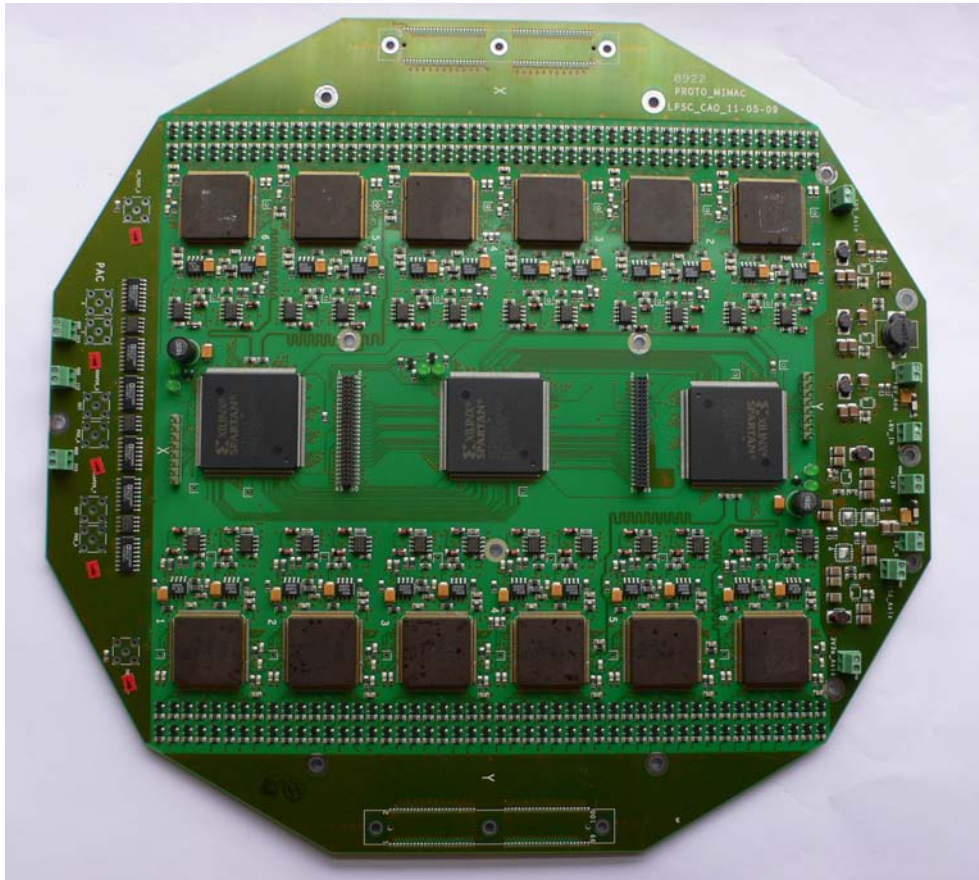




**Mesure du factor de Quenching en ionisation d' $^4\text{He}$   
dans 95%  $^4\text{He}$  + 5%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  en fonction de la pression**  
D. Santos et al. arXiv:astro-ph0810.1137 (PRL)



# L'électronique MIMAC du prototype (12 ASICs (16 voies))

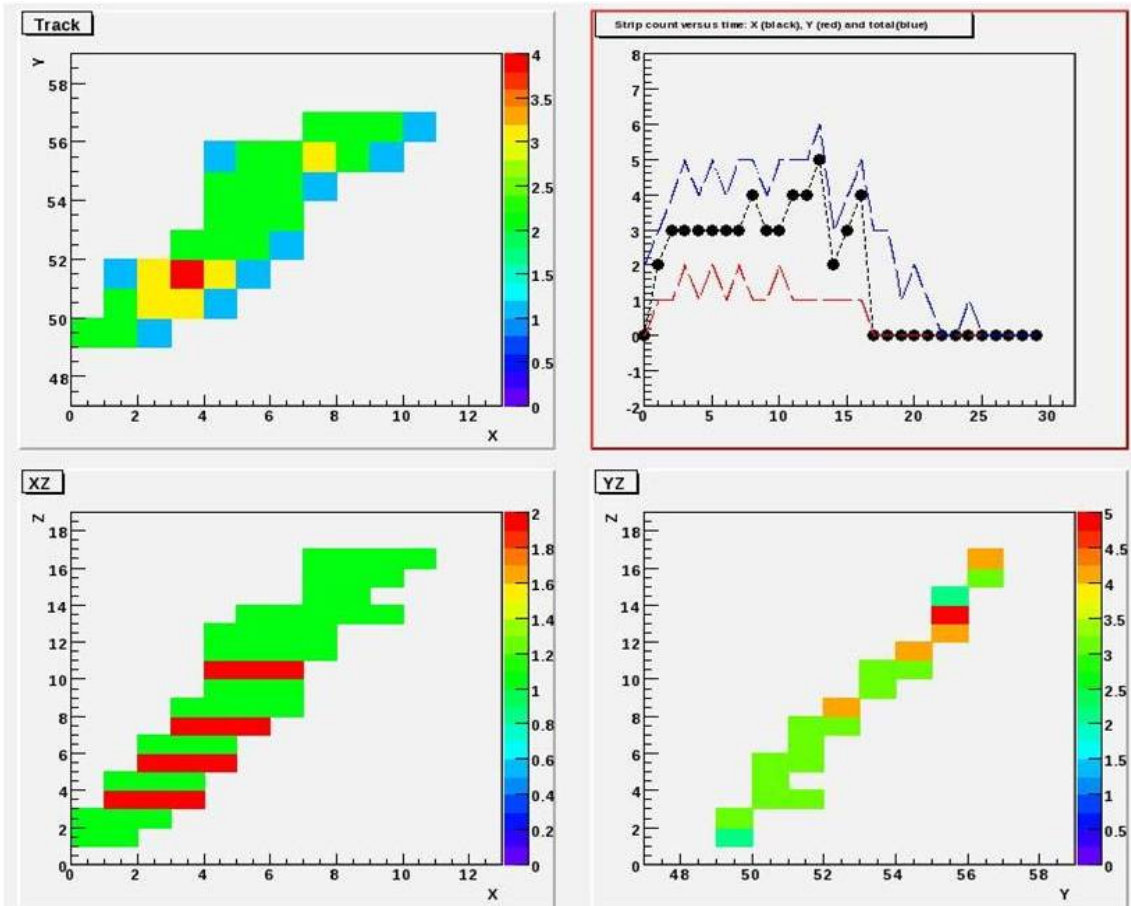


96+96=192 canaux  
3x3 cm<sup>2</sup>  
Auto déclenchée  
Lecture tous les 25ns

Le nouvel ASIC (64 voies) pour le 100x100 mm<sup>2</sup> est prêt à être testé !!

# Trace 3D d'un électron de 5.9 keV ( $^{55}\text{Fe}$ )

## MIMAC Event display



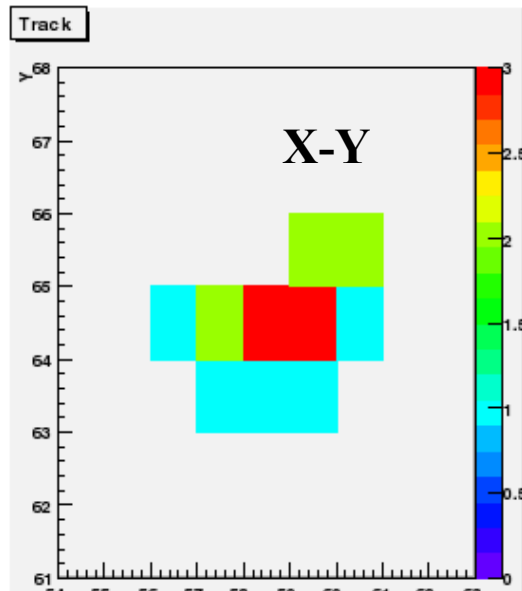
### Reconstruction 3D



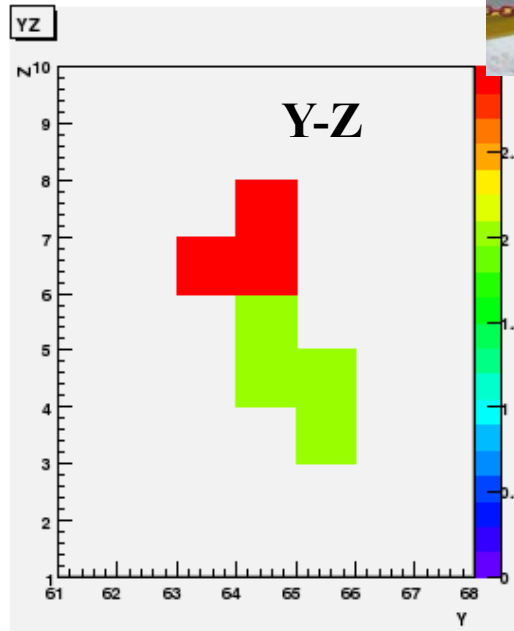
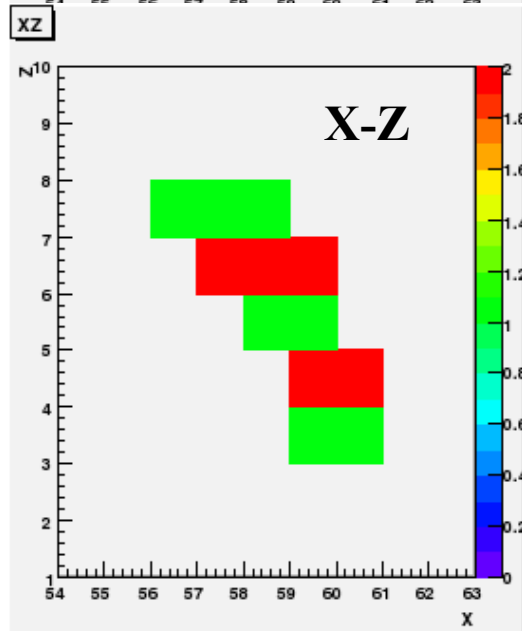
E=200 V/cm  
P=350 mbar  
 $v = 16 \mu\text{m/ns}$

$\phi = 41.6 \text{ deg}$   
 $\Theta = 39.2 \text{ deg}$   
L = 8 mm

# Trace 3D d'un $^4\text{He}$ de 6 keV



350 mbar (95%  $^4\text{He}$   
+ 5%  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )



AERES - 1/02/2010

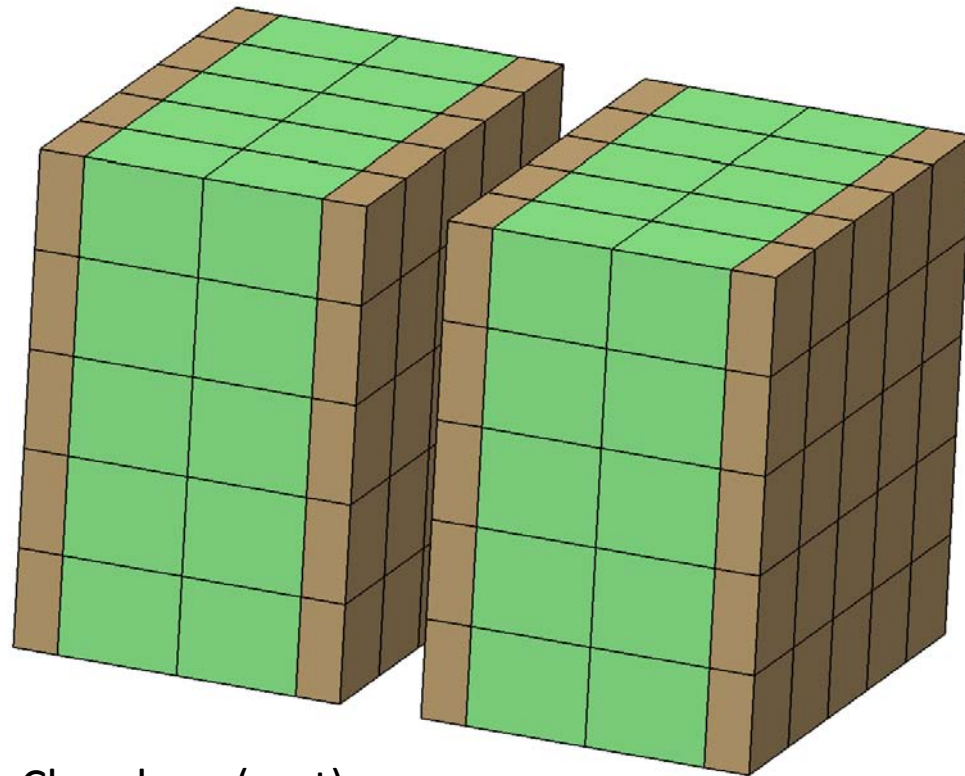
D. Santos

Installation AMANDE  
(IRSN @Cadarache)

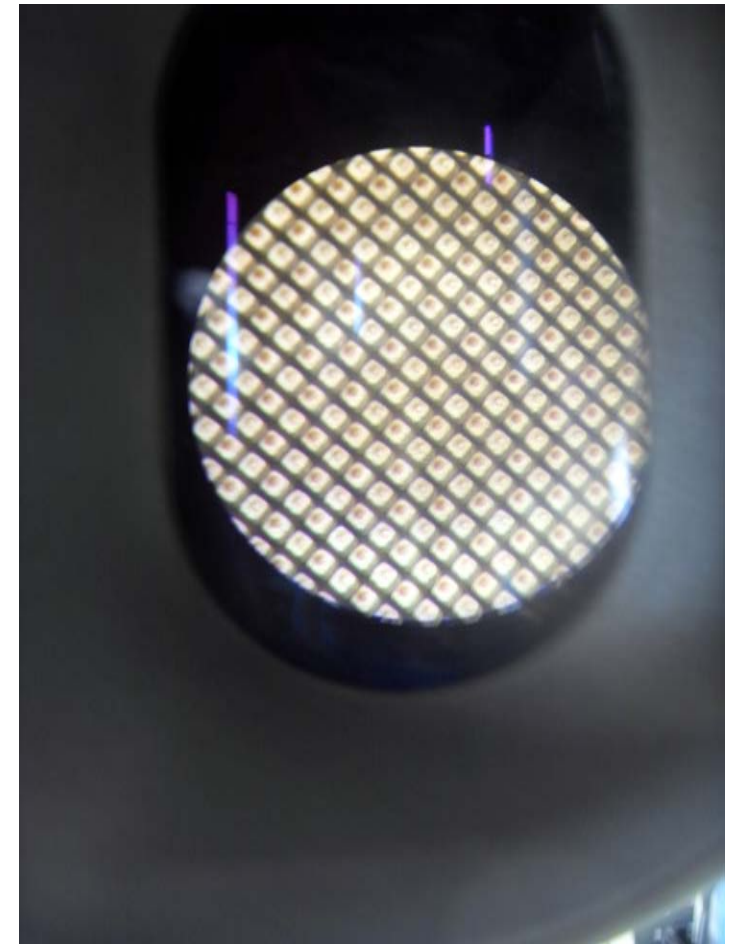
Champs de neutrons de 8 keV – 2 MeV



# MIMAC (1m<sup>3</sup>)



Chambres (vert)  
Electronique (marron)



Une petite partie de la micromegas 100x100mm<sup>2</sup>

## Les prochaines années.... (2010 – 2013)

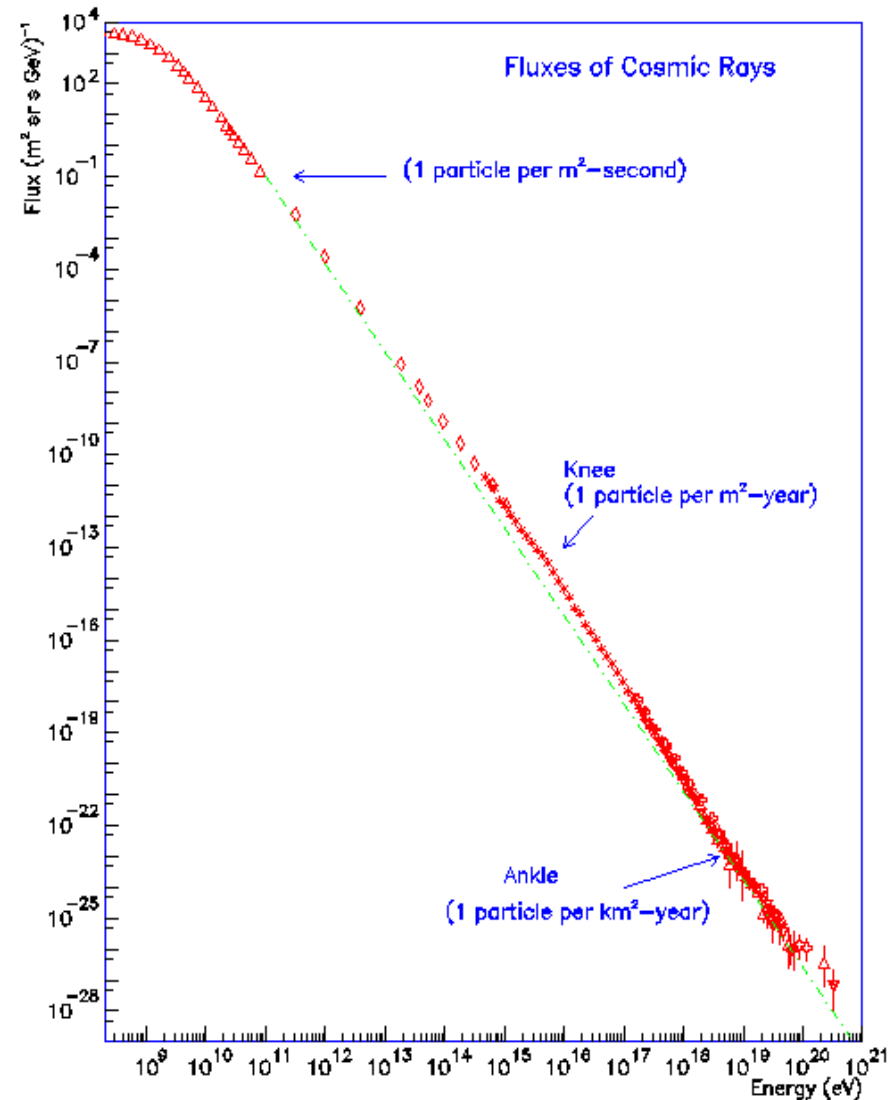
- Le module bi-chambre défini (20cmx20cm) et la chambre 10cmx10cm en fonctionnement pour la fin 2010.
- Définition du 1 m<sup>3</sup> pour la fin 2012 dans le cadre de la collaboration CYGNUS( Grenoble-Saclay-Sheffield-Zaragoza- Darmstadt....)
- Afin de commencer la construction du 50 m<sup>3</sup> en 2014 (Modane ?).
- Le design modulaire nous permettra de travailler avec de volumes intermédiaires.

## Astroparticules



# Le Rayonnement Cosmique

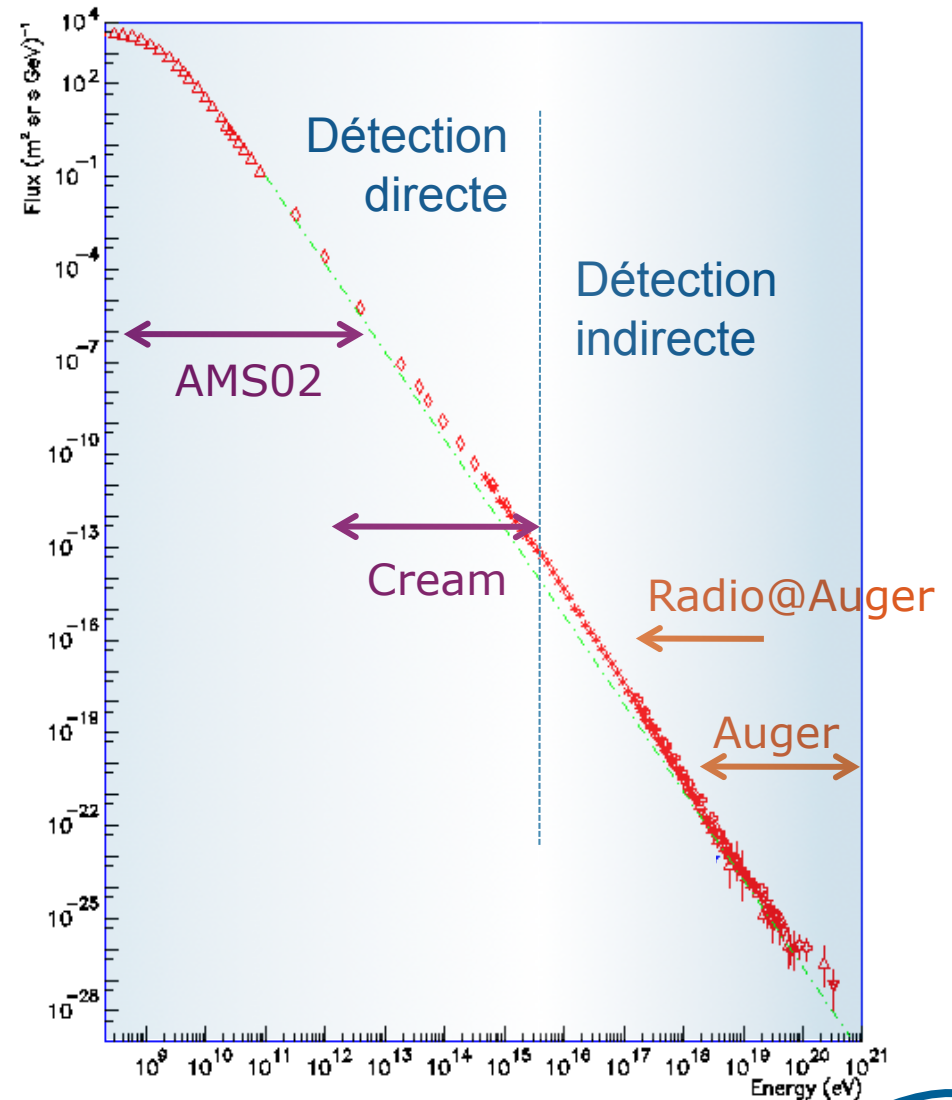
- Flux de particules (p, He, ...) énergétiques ( $10^8$  eV –  $10^{21}$  eV) de 1000 part/m<sup>2</sup>/s
- Mesuré depuis un siècle (découverte par V. Hess en 1912)
- Les enjeux de la physique du rayonnement cosmique :
  - Astrophysique : études des sources et des processus d'accélération et de propagation. Astronomie UHE.
  - Cosmologie : recherche de matière noire indirecte : flux d'antiprotons et de positrons exotiques, symétrie matière/antimatière.
  - Physique des particules : nouvelle physique (supersymétrie, processus top-down). Exploration du domaine d'UHE.





Détection : grande variété d'outils mis en œuvre

- Jusqu'au genou : détection directe
  - + identification des particules
  - hors atmosphère, grande acceptance, longue durée
- Au delà : détection des gerbes atmosphériques
  - + Grande surface de collection
  - Identification plus difficile



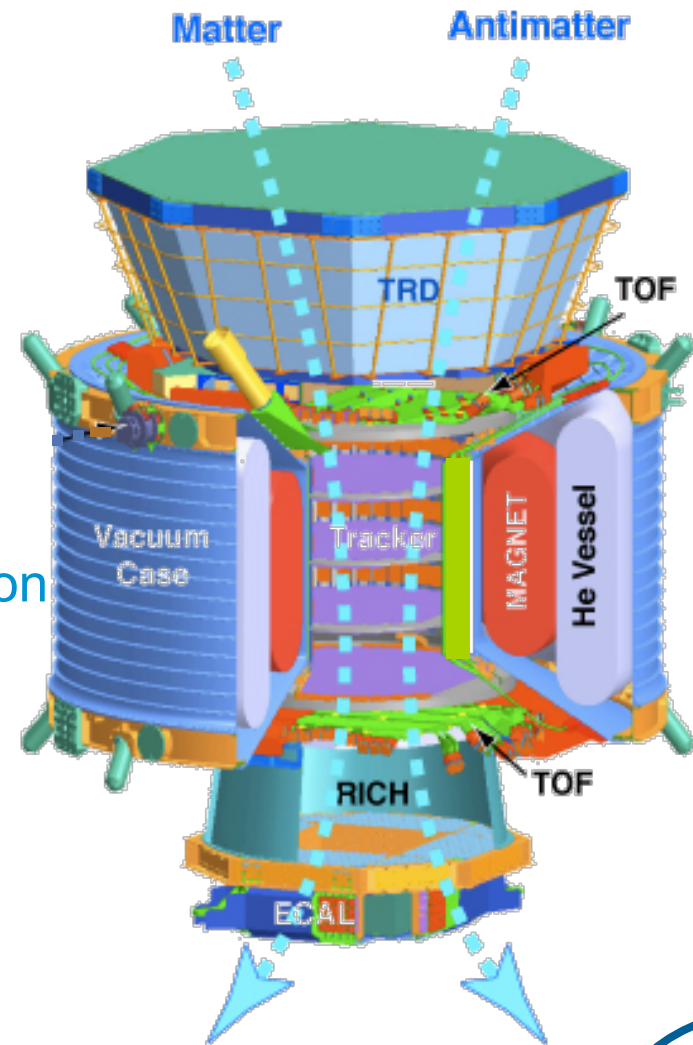
# L'expérience AMS

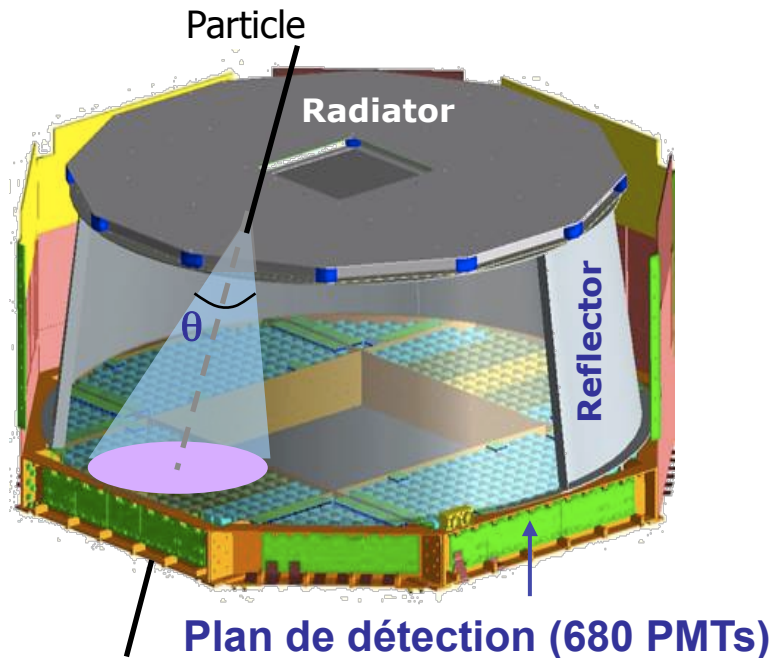
## Spectromètre magnétique installé sur ISS



Haute statistique et haut pouvoir d'indentification  
1 GeV – 1 TeV

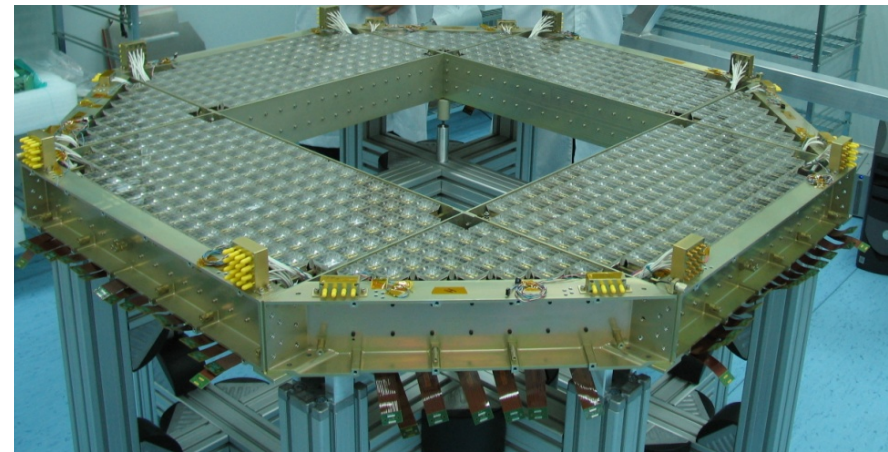
- Matière noire :  $(\chi + \chi \rightarrow \bar{p} + X, e^+ + X, \gamma + X \dots)$
- Antimatière :  $(\overline{{}^4\text{He}}, \overline{{}^{12}\text{C}}, \dots)$
- Sources & propagation : B/C,  ${}^{10}\text{Be}/{}^9\text{Be}$ , ...





## Imageur RICH d'AMS02 :

- Mesure de charge (identification des éléments)
- Mesure de la vitesse (identification des isotopes)



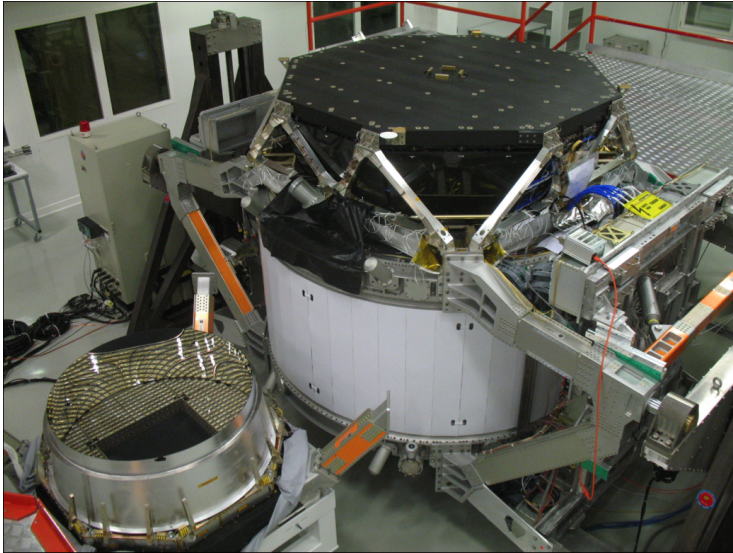
## Responsabilité LPSC

(Service Electronique – SDI)

- Électronique front-end
- Caractérisation & Intégration PMT
- Construction du plan radiateur
- Prototypage - test faisceau CERN - tests champ magnétique  
→ Fin activité instrumentale en 2006



# AMS : status et perspectives



## Status :

- Depuis 2003 (accident Columbia), délai important sur le programme
- Retour dans le programme de vol de la NASA sur la dernière navette (juillet ou septembre 2010)
- AMS intégré au CERN
- Calendrier très court (tests faisceau – tests TV – installation KSC)

## Perspectives :

- Expérience majeure du rayonnement cosmique, très attendue par la communauté.
- Investissement important du LPSC dans AMS02
- Participation à l'analyse et à la phénoménologie :
  - Recrutement Post-Doc (oct. 2010)
  - Accueil chercheur en mutation (sept 2010)
  - Visiteur étranger membre d'AMS (2010-2011)
  - Organisation d'une conférence autour de la physique d'AMS (mars 2010 – LAPP)





# CREAM

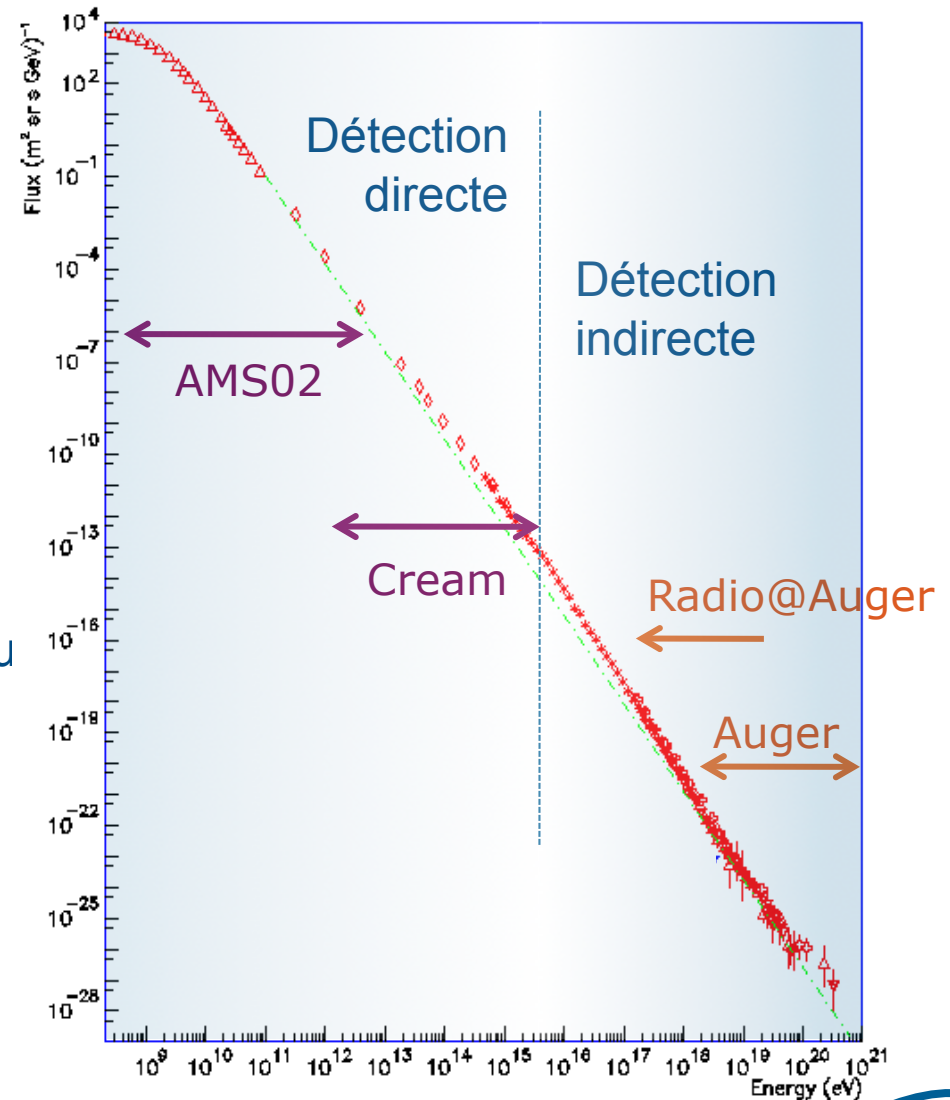
CREAM : Expérience ballon de mesure directe du RC entre 1 TeV et 1000 TeV



→ Source & propagation RC jusqu'au genou

Participation au programme CREAM à partir de 2005

- Complémentarité scientifique
- Valorisation de l'activité AMS alors en stand-by
- Préparation de l'analyse d'AMS



# CREAM : Participation LPSC

CherCam : Mesure de la charge par imagerie Cerenkov :

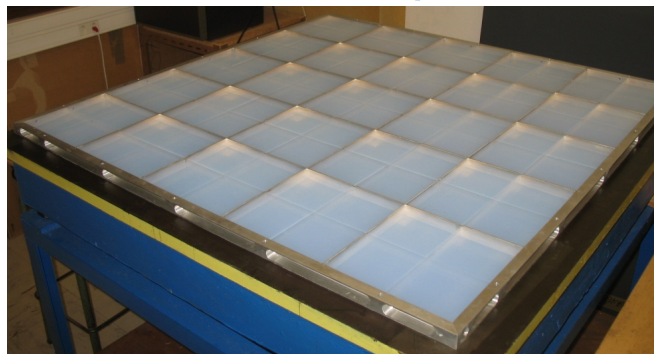
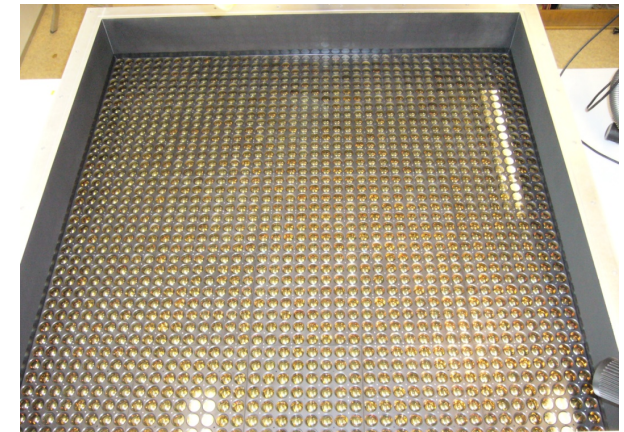
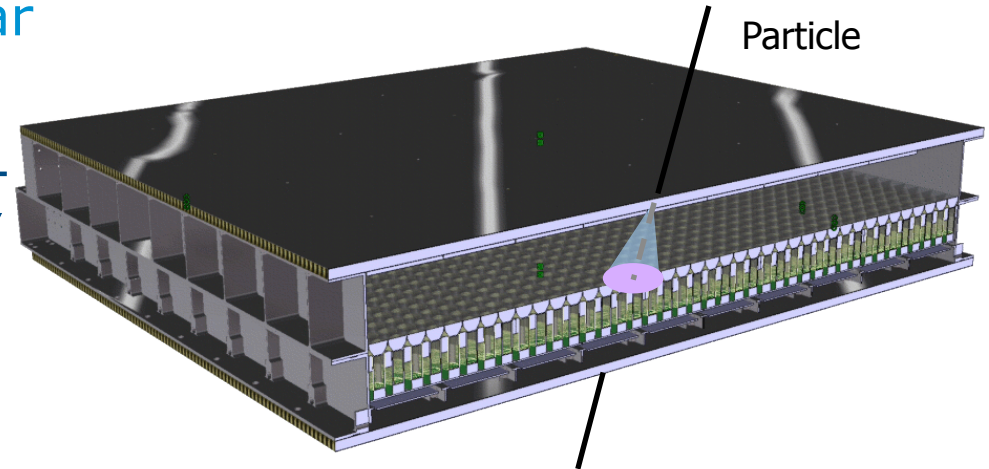
- Plan radiateur : 200 tuiles d'AGL
- Plan de détection : 1600 PMT 1"

Collaboration LPSC/CESR/UNAM

Responsabilité LPSC :

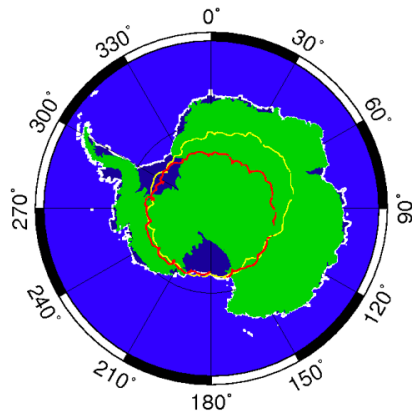
(Mécanique - Service Electronique - SDI)

- Coordination
- Réalisation mécanique
- Conception et réalisation électronique
- Software
- Intégration/tests



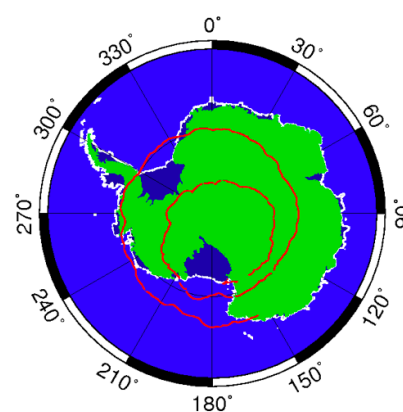
- Construction du détecteur au LPSC 2006-2007
- Participation à 3 vols :

2007-2008 : 29 jours



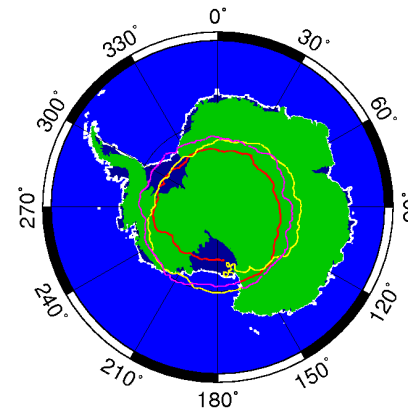
GM 2008 Jan 16 20:15:09 LDB\_Antarctica\_2007-2008\_CREAM

2008-2009 : 19 jours



GM 2009 Jan 09 00:01:35 LDB\_Antarctica\_2008-2009\_CREAM

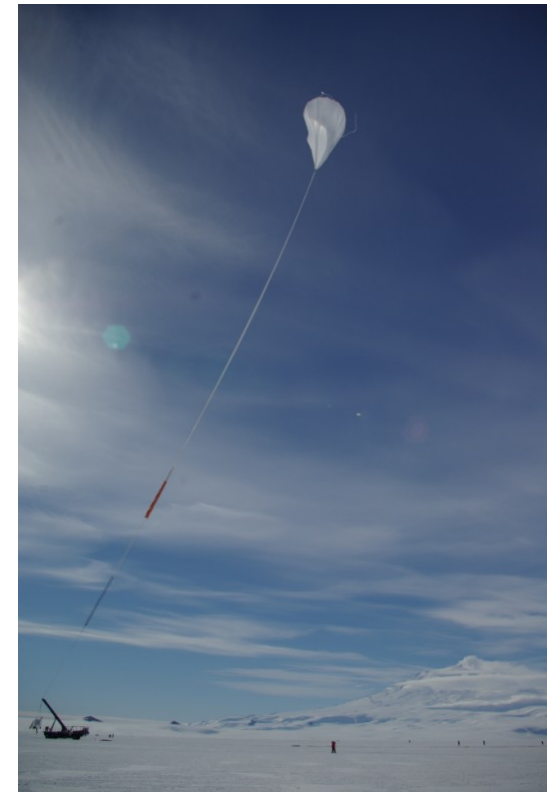
2008-2009 : 37 jours



GM 2010 Jan 08 17:01:00 CREAM\_Antarctica\_2009-2010

## Participation aux campagnes de vols :

- Préparation du vol (UMD/NASA)
- Phase de lancement du ballon
- Récupération du détecteur
- Reconditionnement/test du détecteur (UMD)

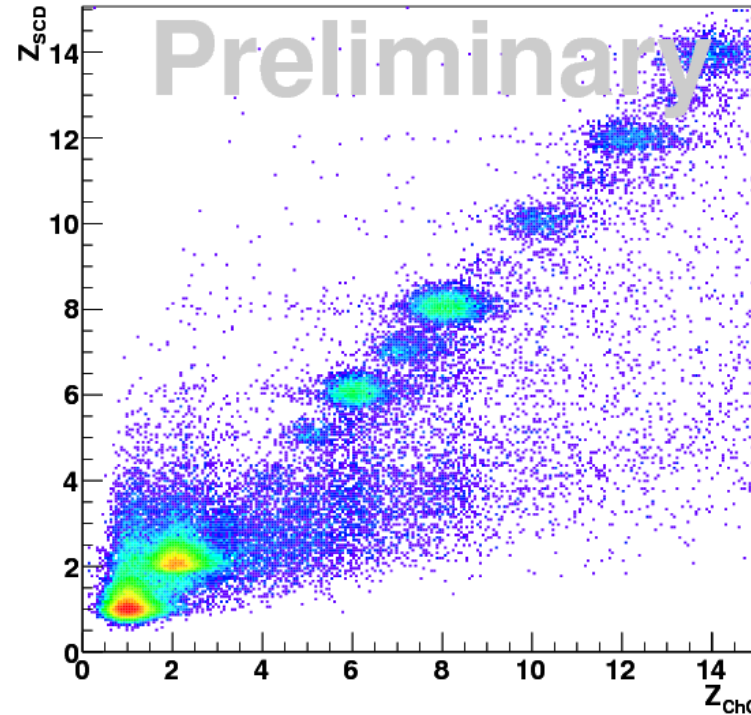
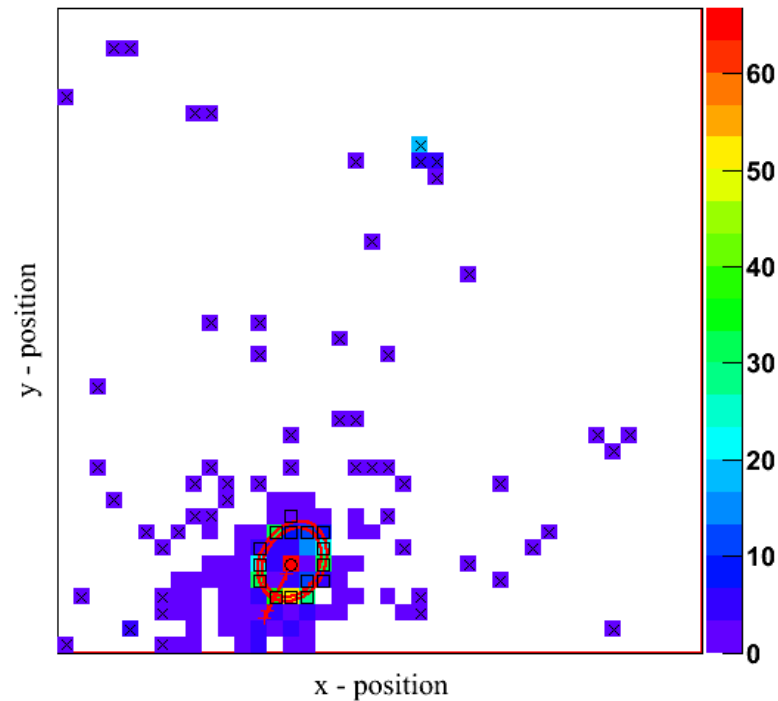




# CREAM : Analyse

Analyses des données :

Reconstruction de la charge avec CherCam et analyse CREAM

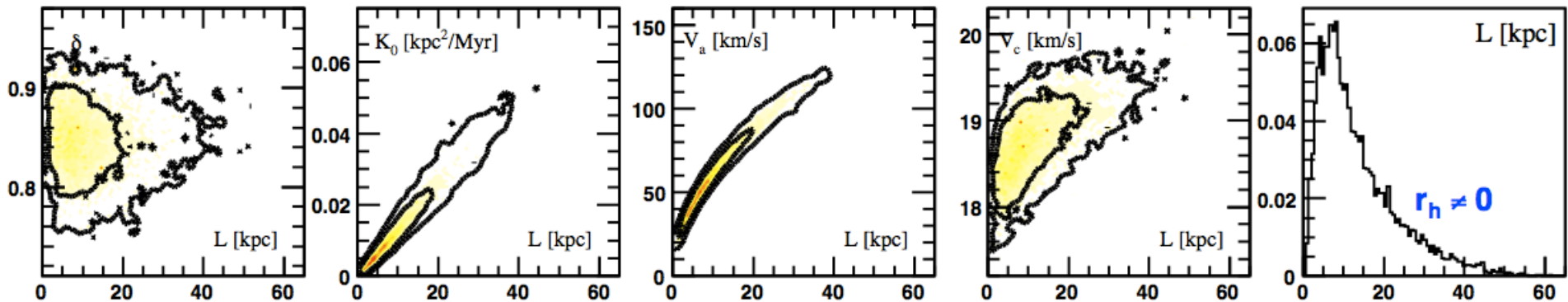
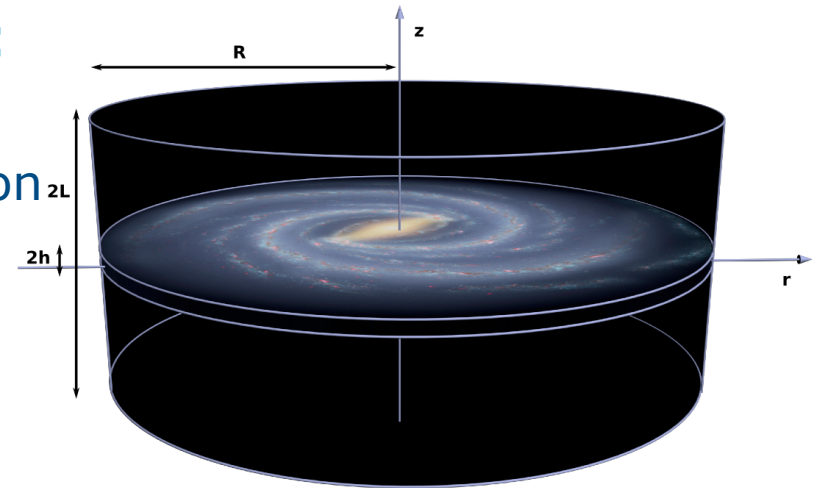


Travail en cours... et en progrès

→ Nouvelles mesures du rapport B/C, SubFe/Fe de précision à haute énergie

## Propagation du rayonnement cosmique :

- Nouvelles données CREAM, AMS → contraindre les paramètres de propagation
- Nécessité d'un outil bayésien : Markov Chain Monte Carlo (MCMC)
- Premiers résultats avec le modèle de Leaky-Box A. Putze et al. A&A 497, 991-1007 (2009)
- Etude des systématiques. D. Maurin, A. Putze, L. Derome, arXiv:1001.0553, soumis A&A
- Etude dans le cadre du modèle de diffusion A. Putze, L. Derome, D. Maurin, arXiv:1001.0551, soumis A&A



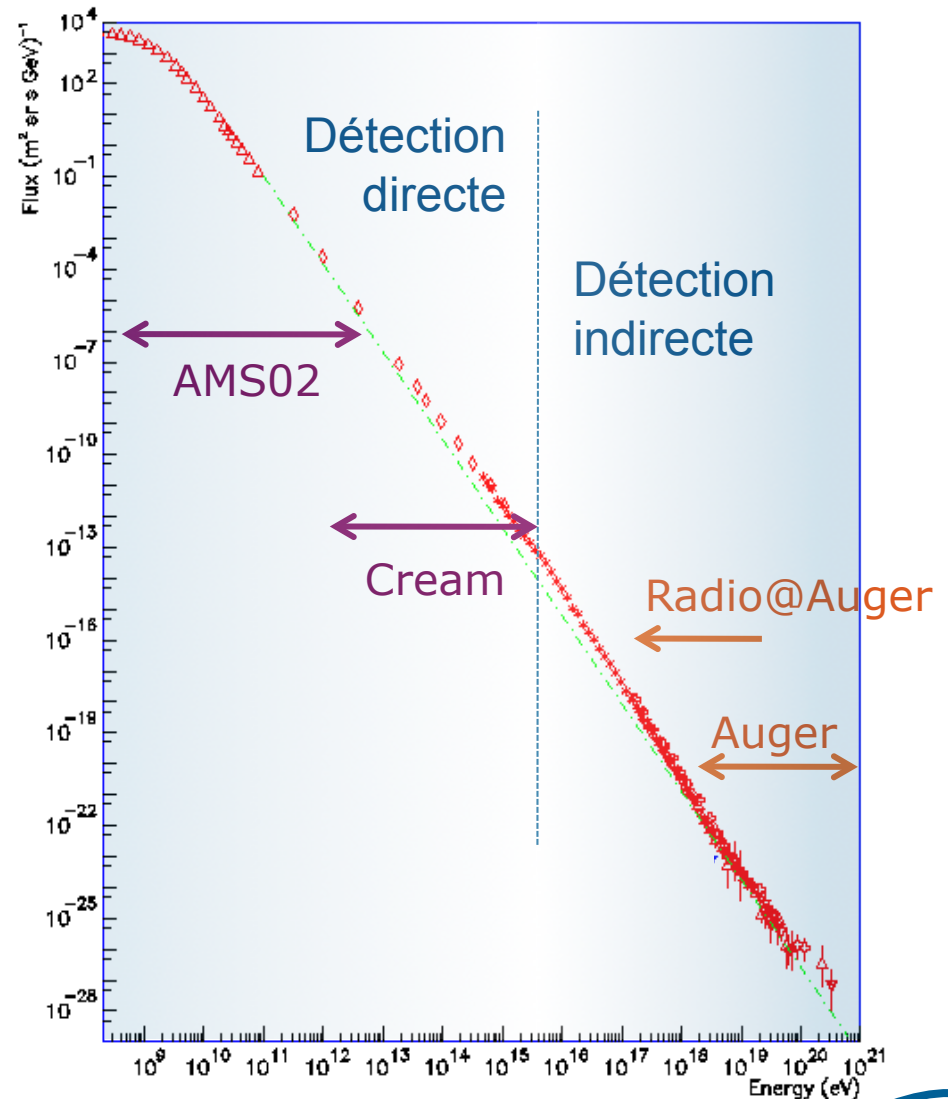
# Les Rayons Cosmiques d'Ultra Haute Energie

Ultra Haute Energie :  $E > 10^{18}$  eV

- Origine des rayons cosmiques
- Nature du rayonnement cosmique UHE
- Interactions hadroniques à UHE ( $> 100 \times \text{LHC}$ ).
- Recherche des neutrinos UHE

Les projets et collaborations :

- **L'expérience Pierre Auger** (le LPSC à rejoint la collaboration en 2006).
  - Le plus grand détecteur de RC du monde
  - Une collaboration internationale (17 pays, 70 institutions).
- **R&D sur la radio détection des RC**
  - A Nançay : CODALEMA depuis 2004 (projet ANR 2005-2009), collaboration pluridisciplinaire INSU-IN2P3
  - Sur le site d'AUGER





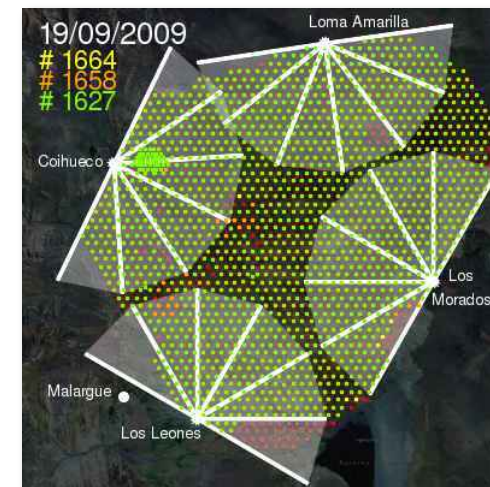
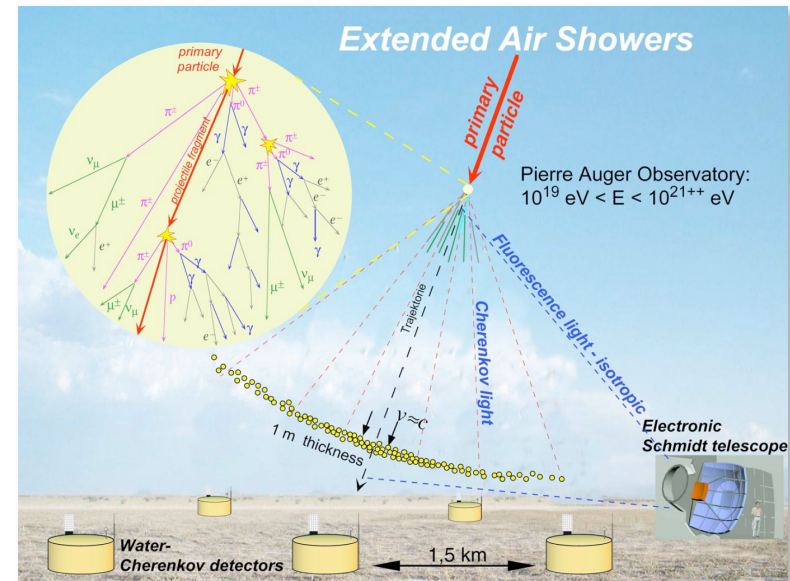
# L'observatoire Pierre Auger

## Une détection hybride

- Echantillonnage des particules arrivant au sol
  - Cycle utile 100%
- Fluorescence émise au passage des particules dans l'air
  - Cycle utile  $\sim 13\%$

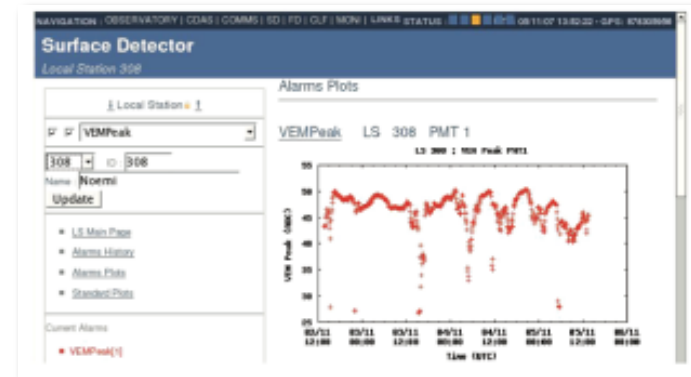
## 2 Sites

- Site Sud en Argentine complet
  - 1600 cuves Cerenkov à eau réparties sur 3000 km<sup>2</sup>
  - 4 sites, 24 télescopes
  - inauguré en nov. 2008
- Site Nord en projet au Colorado



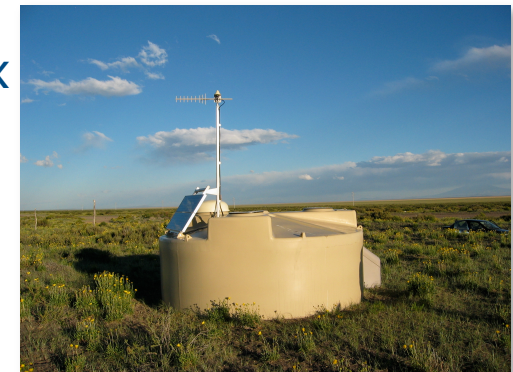
## Contrôle en ligne (service informatique)

- réseau des détecteurs au sol
  - Gestion des alarmes
  - Outils de gestion des maintenances
- Authentification des utilisateurs du site web



## Maintenance de l'électronique des PM des cuves (services Electronique + SDI)

- Banc de test « climatique » des PM défectueux  
⇒ mise au point des procédures de réparation



## R&D Auger Nord (SDI)

- Module optique (PM+électronique) pour plus de fiabilité

# Premiers résultats d'Auger

Observation de la forte diminution du flux de RC au dessus de  $4 \cdot 10^{19}$  eV

⇒ Effet GZK observé ( $p + \gamma_{\text{CMB}} \Rightarrow \Delta$ )

Limites supérieures sur les flux de  $\gamma$  et de  $\nu$  UHE

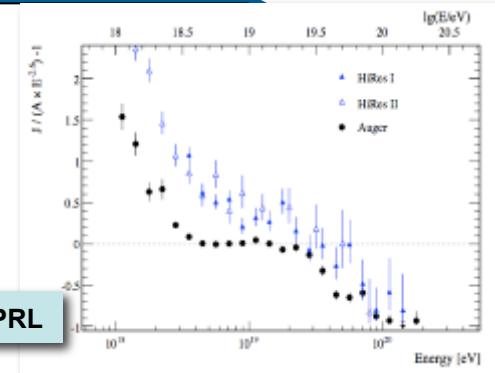
⇒ La plupart des processus « Top-Down » sont d'ores et déjà exclus

Publication à la une de « *Science* » des résultats sur corrélation avec position des AGNs proches

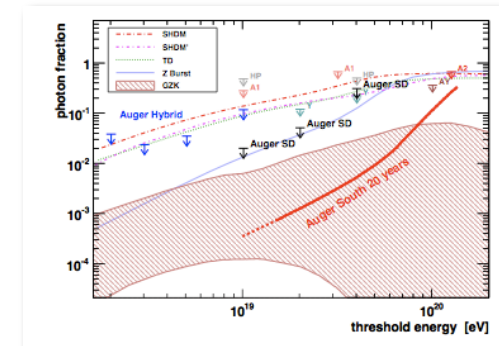
⇒ Anisotropie des RCUHE

Mesure de la profondeur du maximum de développement,  $X_{\text{max}}$

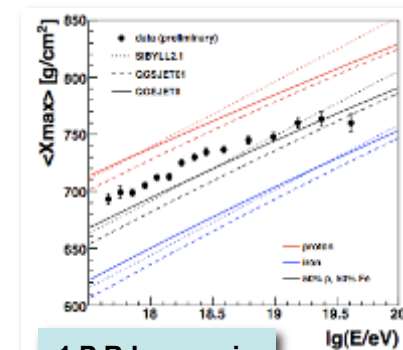
⇒ Composition compatible avec du Fer à UHE



1 PRL



1 PRD, 1PRL, 3 Astro.Ph



1 PRL soumis

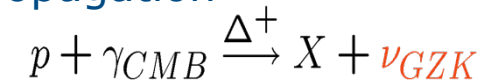
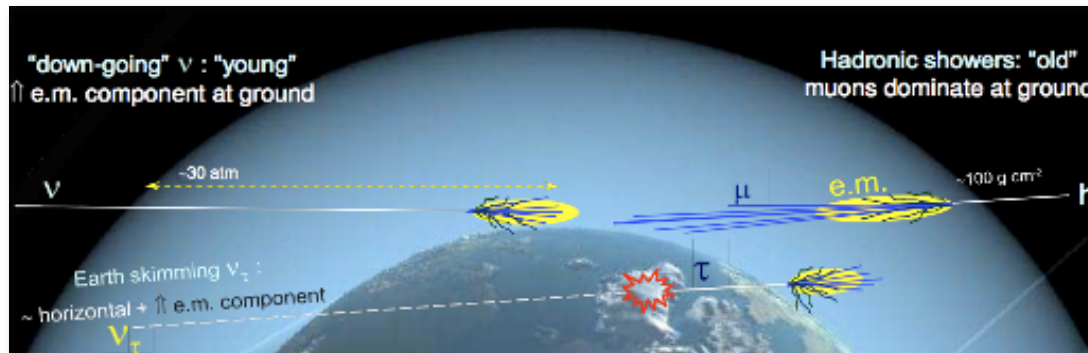
1/02/2010

15

# Analyses Auger au LPSC : neutrinos

## Les objectifs

- Astronomie neutrino
- Tous les modèles de génération des RCUHE prédisent des neutrinos (Flux important dans les modèles Top-Down)
- Recherche des neutrinos GZK, test des modèles de propagation

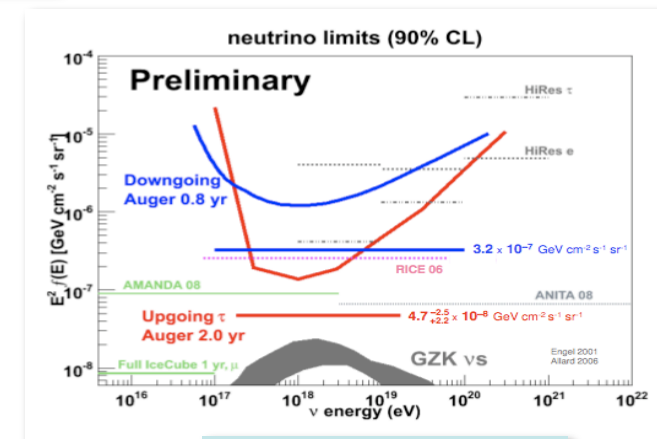


## La méthode

- Analyse des gerbes très inclinées
- Calcul précis du flux de  $\tau$  émergeant

## Thèses

- Une thèse soutenue en sept 2009
- Début de thèse en 2010

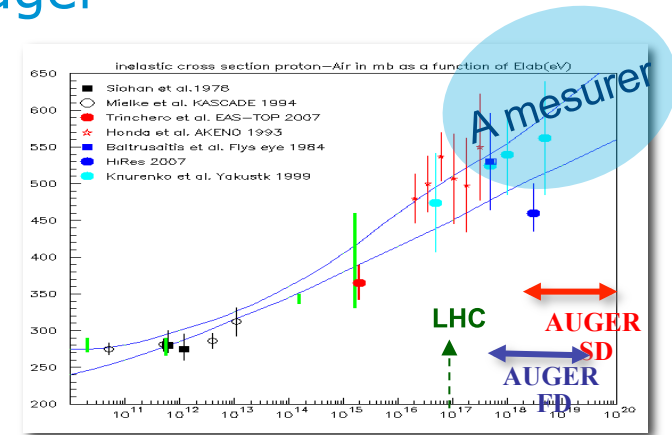




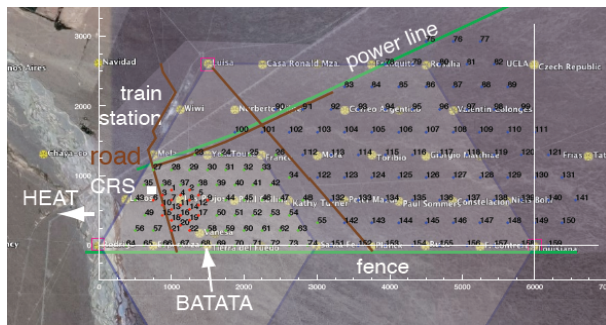
# Composition Interactions hadroniques

## Questions en suspens dans les données d'Auger

- $X_{\max}$  : noyaux légers  $\rightarrow$  lourds à UHE
- Corrélation avec AGN : protons à UHE
- Changement dans les interactions hadroniques ?
- Ou autres ?



$\rightarrow$  Nécessité de tester d'autres observables que  $X_{\max}$



AERA : Auger Engineering Radio Array

- Analyse composition avec détecteurs de surface (en cours)
- Amélioration de l'Observatoire Sud :
  - Détecteur multi-hybride sur une zone restreinte (en cours) :  
Fluorescence, réseau plus dense avec détecteurs muons, radiodétection : AERA (20 km<sup>2</sup>) collab. Europe.
  - Radiodétection en mode esclave sur les cuves du détecteur de surface (proposée)

# R&D Radio-détection

2 grandes R&D radio en Europe : CODALEMA et LOPES (*LOFAR prototype Exp*)

→ CODALEMA à Nançay :

Comprendre les mécanismes d'émission et calibrer en énergie  
l'émission radio à  $E=10^{16-18}$  eV

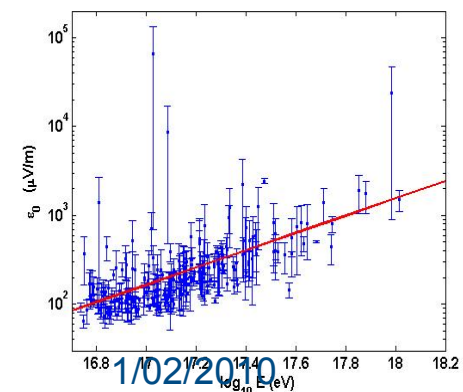
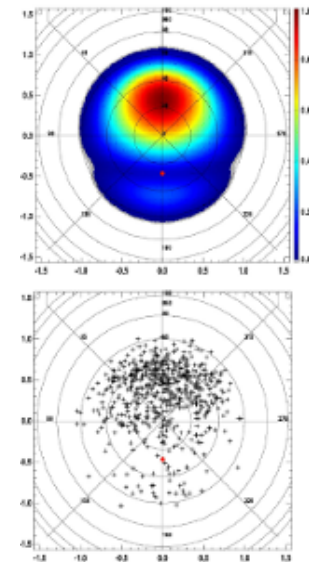


SUBATECH : réseau antennes

LPSC : (Mécanique – Electronique – SDI – informatique) réseau de 17 scintillateurs + électronique + DAQ → trigger + direction + estimation de l'énergie du primaire  $E_{SC}$

Résultats :

- Origine géomagnétique de l'émission (asymétrie NS)
- Calibration des signaux radio en fonction de  $E_{SC}$
- Dimensionnement du projet AERA

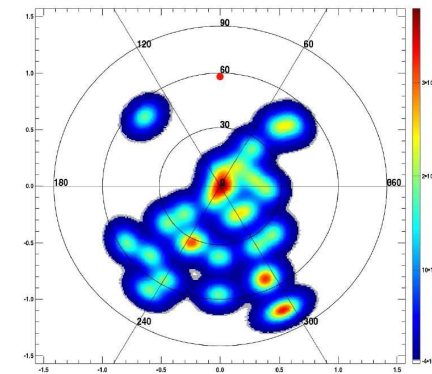
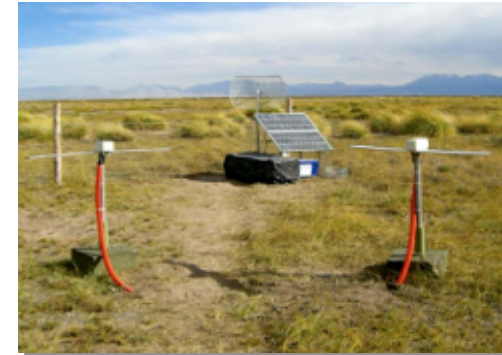


- Radio@Auger : Prototype d'un réseau d'antennes autonomes

Autonomes : auto déclenchées (Subatech) + auto suffisante énergétiquement (LPSC)

- Première observation des signaux radio induits par une gerbe de façon auto déclenchée
- confirmation de la validité de la calibration CODALEMA et inversion de l'asymétrie NS dans l'hémisphère sud

- Simulation (ReAires) et de modélisation :  
Modèle Analytique, Compton Inverse,....  
(publications)



- Maintien des engagements dans le détecteur de surface
  - Monitoring (alarmes, maintenances)
  - Expertise pour la maintenance SDE (PMs)
  - Etudes pour Auger Nord
- Participation au projet AERA (simulation, contrôle de la DAQ).
- Etude de solutions alternatives à la baseline AERA :
  - Réseau d'antennes en mode « esclave » associé au Détecteur de Surface.
  - Acquisition autonome COD-ALPES
- Etudes des interactions hadroniques / composition du rayonnement cosmique à ultra haute énergie
- Recherche de neutrinos UHE (voir les premiers  $\nu_{\text{GZK}}$  ?)

Signature d'un nouveau  
MoU Auger en cours  
(observatory operations)



Enseignement : contribution importante aux enseignements et à la vie de l'université y compris de membres sans charge statutaire.

- Responsable de la filière M2R Physique Subatomique et Astroparticules
- Coordination des M2R de Physique de Grenoble.
- Cours Astroparticules, Cosmologie, Analyse des données du M2R PSA.
- Participation importante dans d'autres enseignements/filières.
- Encadrement de nombreux stages master, thèses et autres.

Communication :

- Coordinatrice communication au laboratoire
- Organisateur d'événements dans le cadre de Fête de la Science.
- Exposition itinérante « Dôme Planck »
- Conférences / participation à des émissions de radio.
- Projets Ecrins, mini-Ecrins et NOY.



# Résumé de la thématique



## Les axes de recherches :

- Cosmologie observationnelle : univers primordial – matière noire – énergie noire
- Astroparticules : rayonnement cosmique sur l'ensemble du spectre

## Une thématique pluridisciplinaire :

→ International / National (INSU/IN2P3) / Local (LAOG/Institut Néel)

## Contributions :

- Réalisations techniques - conception, construction, R&D  
→ Contribution/implication des services techniques du LPSC
- Productions scientifiques - analyse et phénoménologie/théorie.

# Résumé (suite)



## Visibilité :

→ Participation aux expériences, publications, enseignements, communication.

## Attractivité de la thématique :

→ Stages, thèses (10 soutenues 2005-2009, 7 en cours), post-doc...

## Capacité à mobiliser des financements :

→ 3 ANR (CODALEMA – CREAM – MIMAC), PIPU, Région, CNES, Université, IN2P3/CNRS, TGE.

## Vitalité des projets :

- Des manip en cours : PLANCK – AUGER – CREAM
- Dans un futur proche : AMS02
- Projets et R&D : MIMAC – Radiodétection – NOY – LSST