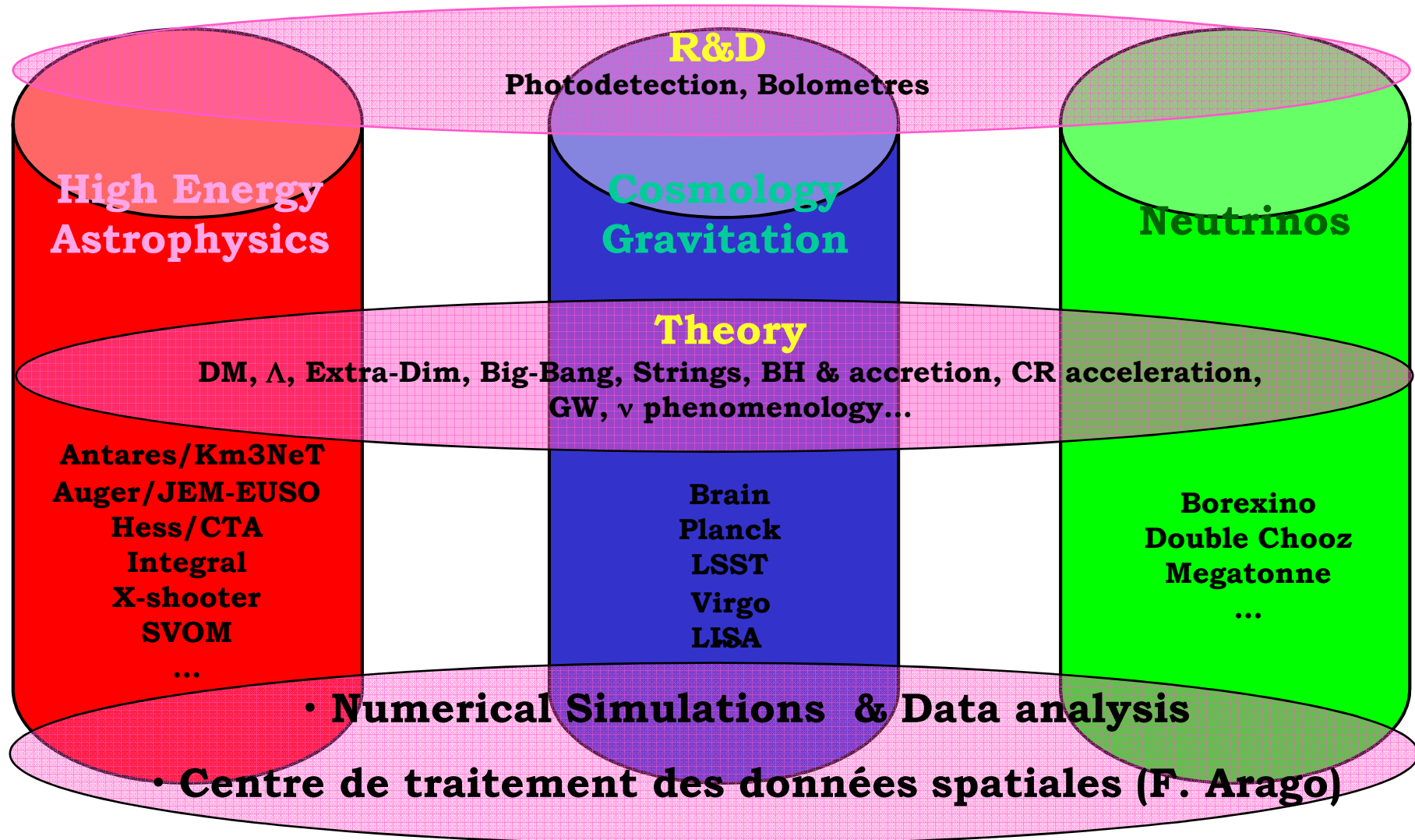


Les astroparticules à APC
Groupe thématique Astrophysique de haute énergie
(resp: E. Parizot – A. Goldwurm)

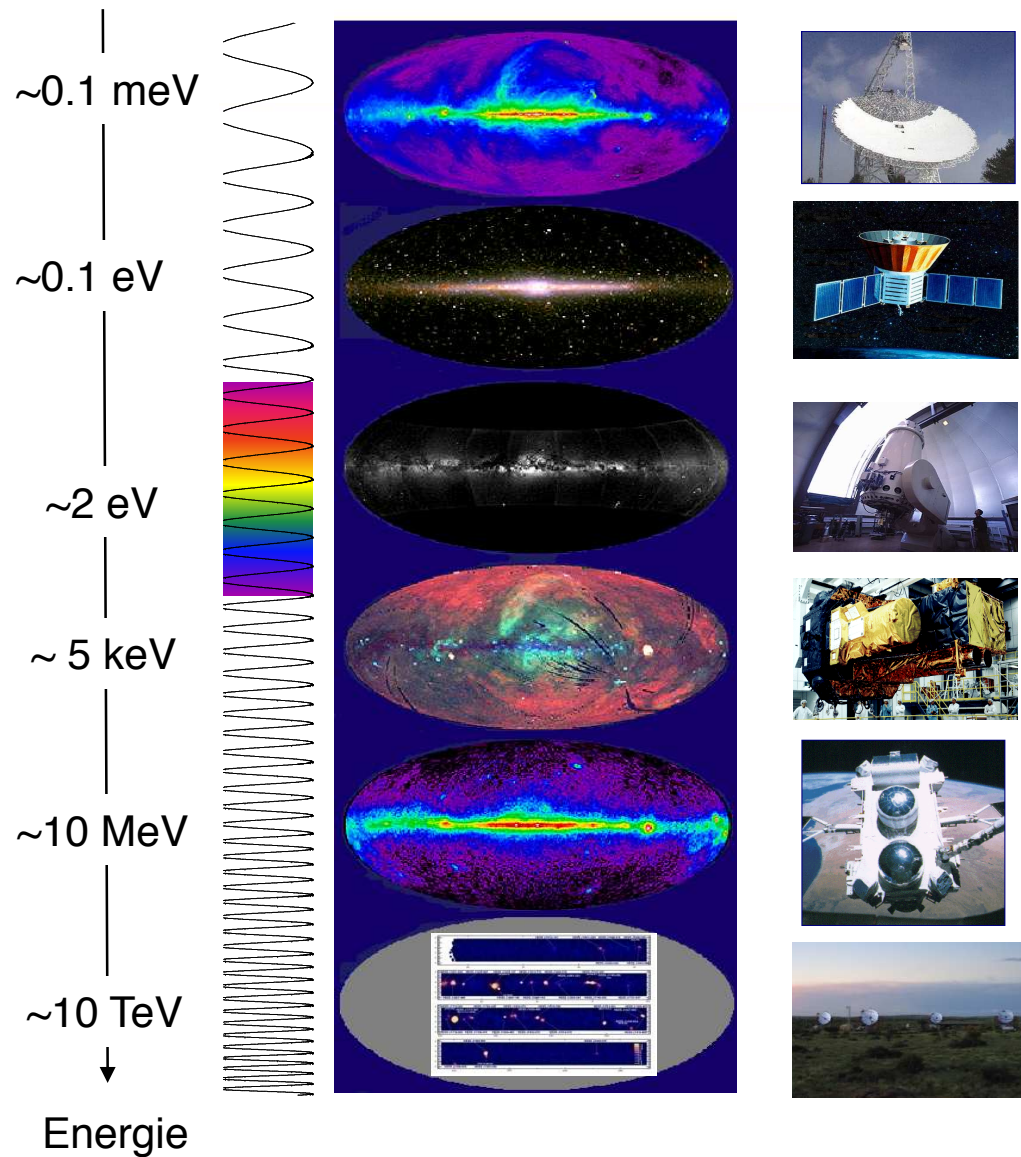


Antoine Kouchner

Organisation scientifique à APC : groupes thématiques



Astronomie multi-longueur d'onde



Meilleure compréhension
des objets qui peuplent
l'Univers

Haute énergie

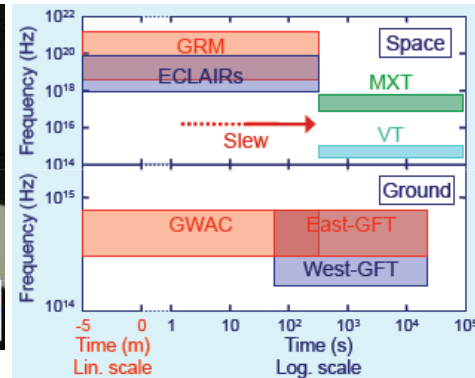
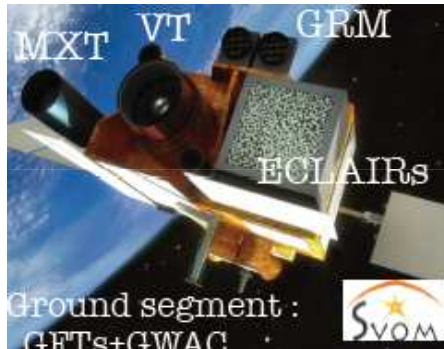
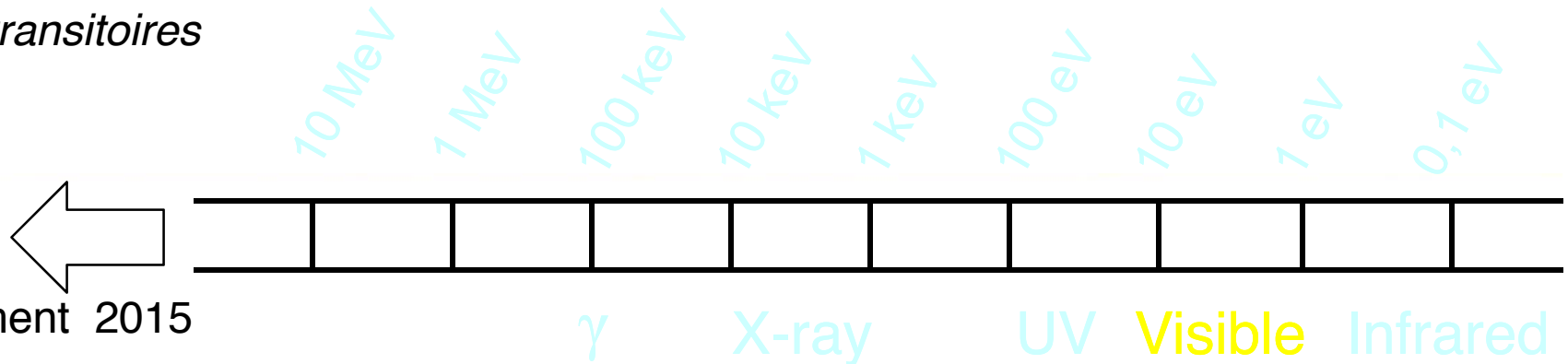


Origine des rayons cosmiques
ultra haute énergie

Matière noire

Astronomie multi-longueur d'onde à APC

Sources transitoires



Spectrographe mono-objet
(DMK, FRA, NLD, ITA) en fonctionnement

Collaboration Franco-chinoise:
70 GRB/an - grand redshift

Equipe APC: C. Lachaud (P7), J. Paul (APC/IRFU)
A. Givaudan (mecanique)

Responsabilité : Masque codé (CdTe) d'ECLAIR

Optimisé pour une sensibilité maximale en maintenant la possibilité d'extraire les propriétés physiques de l'objet dans la bande spectrale la plus large possible (300 nm-2400 nm).

Equipe APC: P. Goldoni (APC/IRFU), S. Vergani (APC/GEPI) en collaboration avec le GEPI-OBSPM

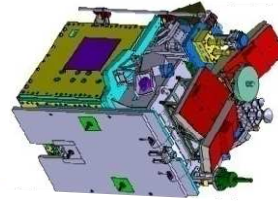
Data reduction software

☞ Temps garanti (2010-2013)

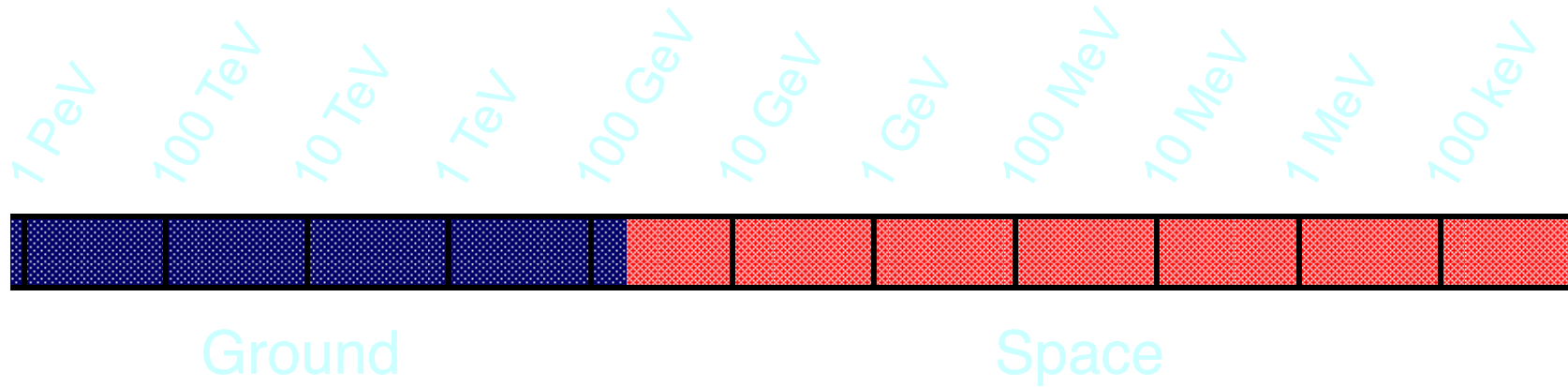
Résultat récents : composition chimique des la galaxie hôte de GRB

Astronomie multi-longueur d'onde à APC

En fonctionnement aujourd'hui...



Mais aussi TARANIS (CNES) 2014
Terrestrial Gamma-ray Flashes



HESS

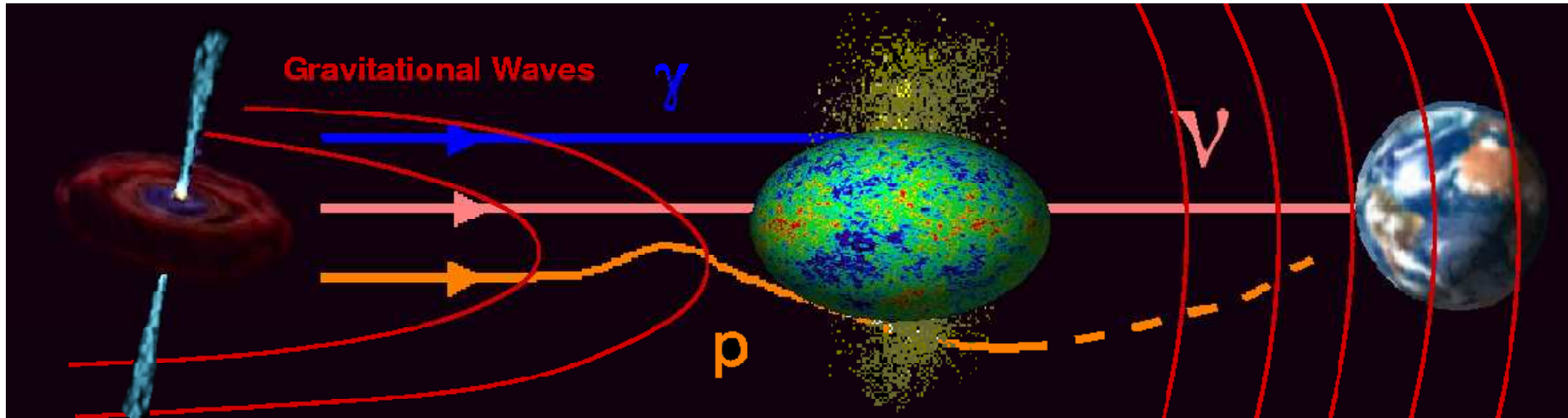


FERMI
APC n'est pas impliqué



INTEGRAL
gamma rays, X-rays &
visible light

Approche multi-messagers



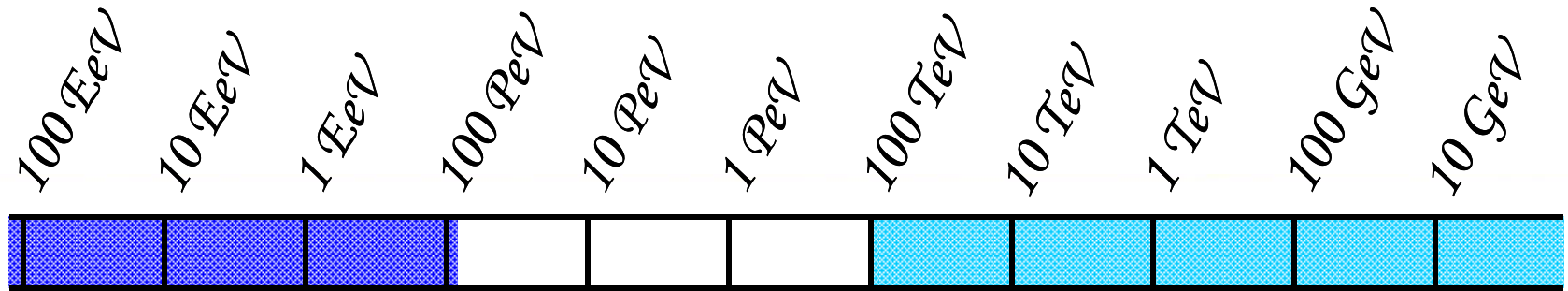
- photons de HE : tracent les populations de particules accélérées
- hadrons fournissent des informations sur les accélérateurs cosmiques
- neutrinos renseignent sur les accélérateurs cosmiques et les zones les plus denses
- ondes gravitationnelles indiquent les mouvements d'ensemble de la matière

APC doit faire interagir ces différentes équipes

Origine des rayons cosmiques
de haute énergie

Matière noire
(détection indirecte)

Messagers alternatifs - RC

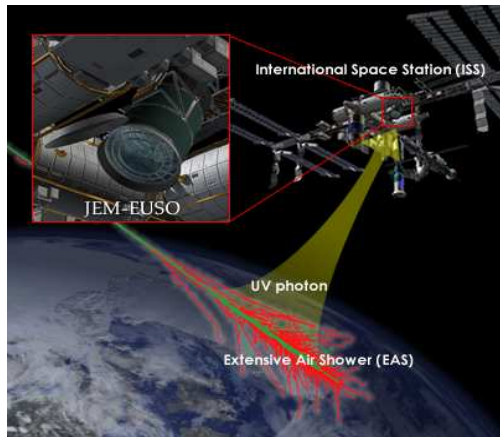
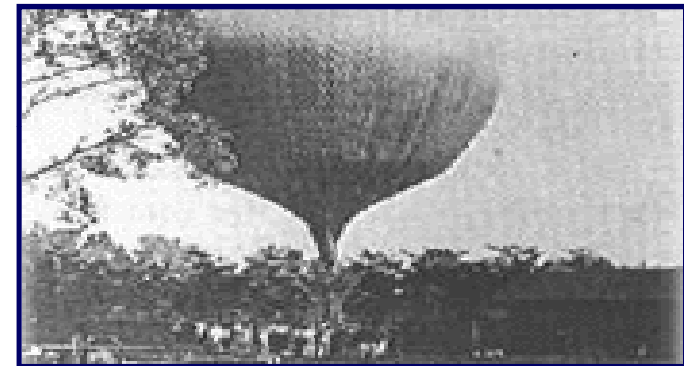


Sol et espace

Ballons

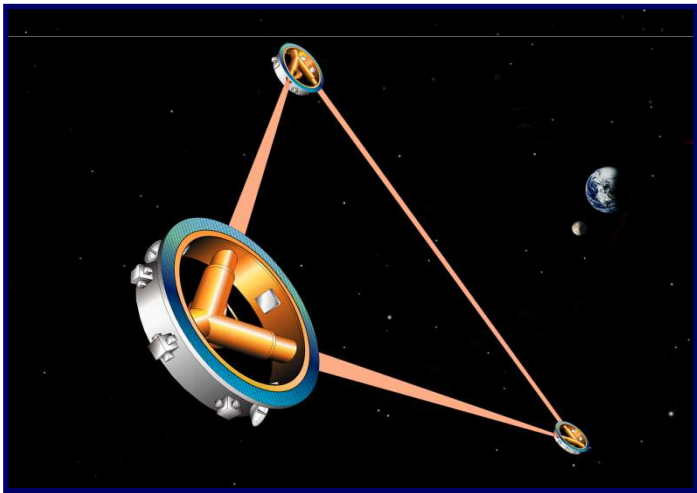
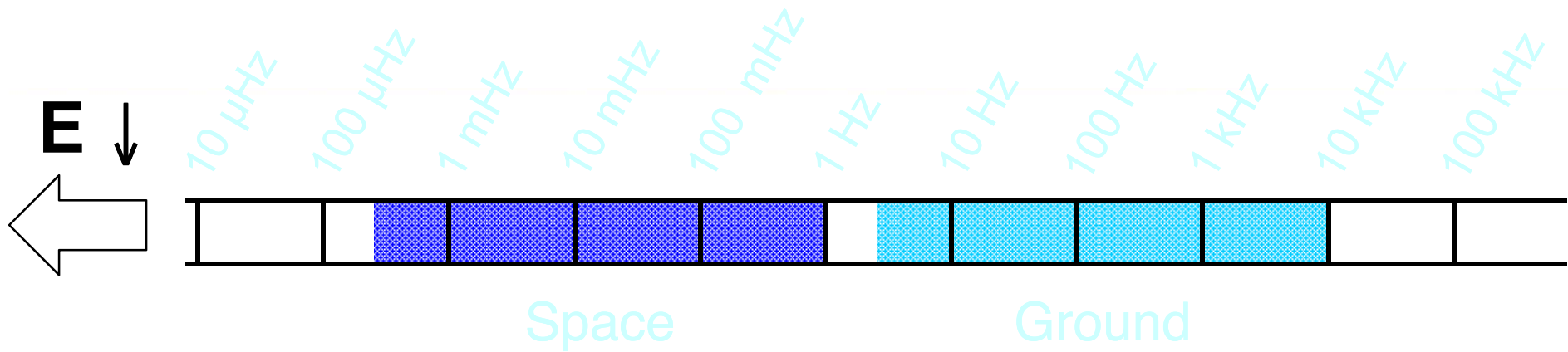


Auger Sud (en cours)
Auger Nord (2011 ?)



JEM-EUSO
Lancement 2015

Messageurs alternatifs – OG

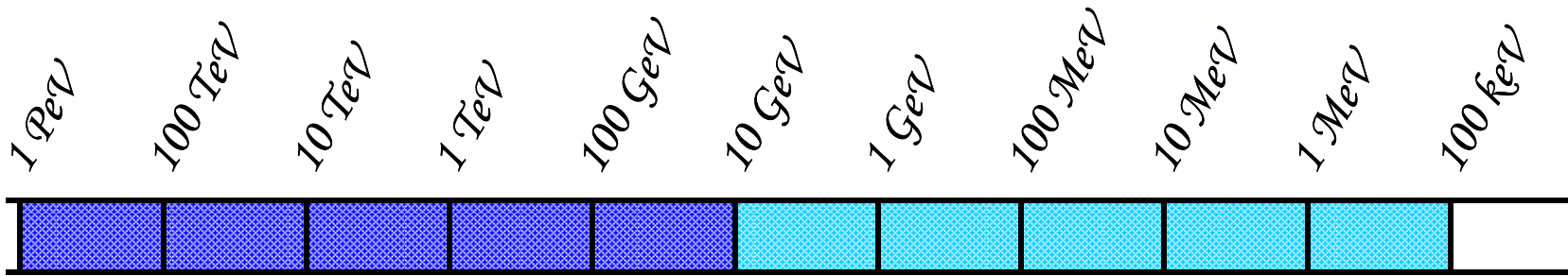


LISA – pathfinder 2011
LISA ~ 2018

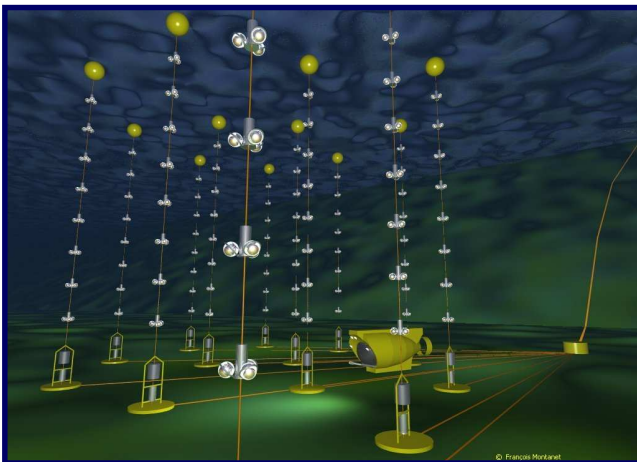


Virgo-LIGO acquisition
Advanced Virgo-LIGO ~ 2015

Messageurs alternatifs – Neutrinos

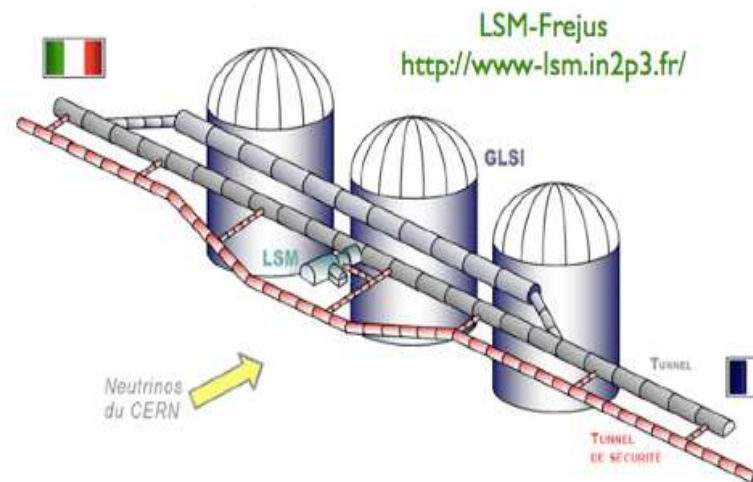


Sous-marin



ANTARES (en cours)
KM3NeT ~ 2012 ?

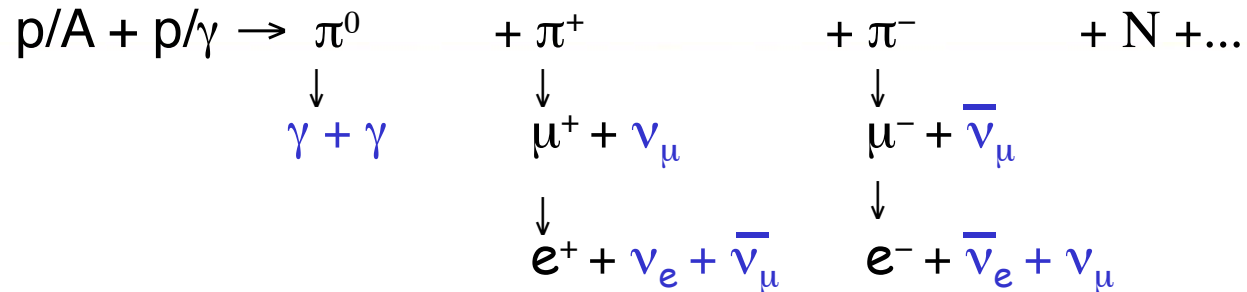
Souterrain



MEMPHYS ~ 2016

Lien entre les messagers

- Cascades hadroniques (comme pour les gerbes atmosphériques)

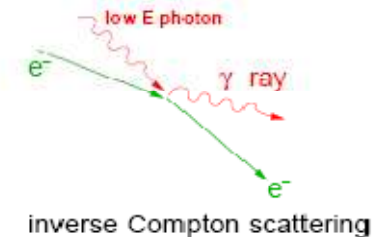


- Accélération («Bottom-Up»)

Chocs stochastiques (mécanisme de Fermi)

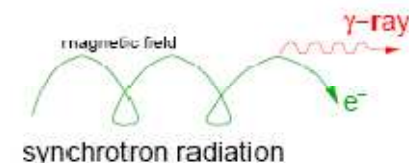
Explosion / Accrétion / Effondrement gravitationnel

ondes gravitationnelles



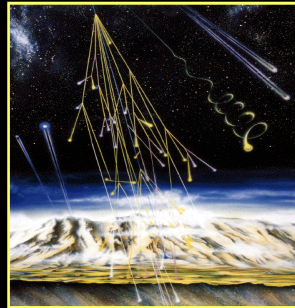
- Processus électromagnétiques

Synchrotron Inverse Compton = Pas de neutrinos

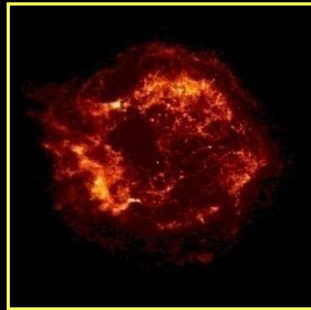


Astronomie gamma au sol : HESS, HESSII, CTA

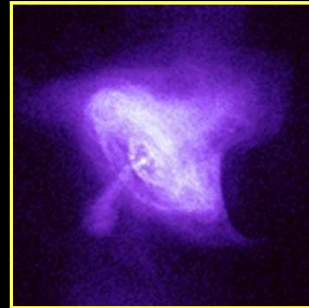
Thèmes abordés à APC



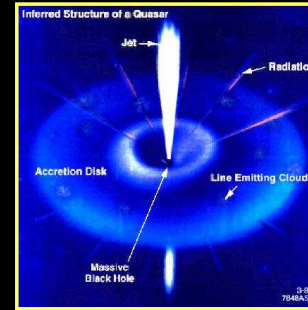
Origin of cosmic rays



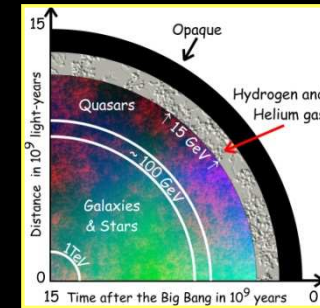
SNRs



Pulsars and PWN

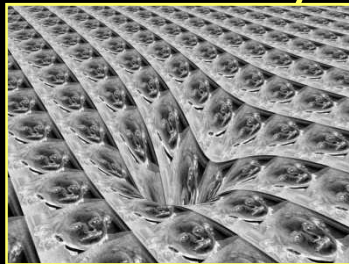


AGNs

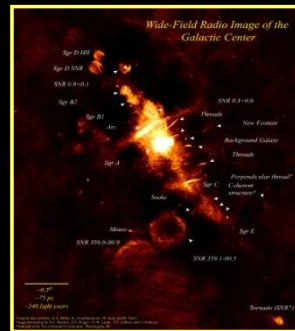


Cosmology

Space-time & relativity



Dark matter



GRBs



Chiffres cle (HESS 2009) :

70 publications

43.6 citations / papier

1.2 publi /mois depuis 2006

Thème principal du groupe SPP

Les équipes HESS-CTA de l'APC

■ 6 Physiciens :

- Y. Becherini (Post-doc, HESS et CTA), A. Djannati-Ataï (Physicien référent HESS), S. Gabicci (Phénoménologie CTA), M. Punch (Co-spokesman HESS, Physicien référent CTA), S. Pita (HESS + resp. méthodes d'analyse CTA) et R. Terrier (HESS, Integral, CTA, multi-lambda)

■ 2 doctorants :

- L. Gérard (AGNs avec HESS et Fermi), V. Marandon (PWNe+dark sources, HESS, Chandra et Fermi).

■ 9 ingénieurs participent à CTA :

- M. Benallou (Qualité), M. Corlier (Qualité), L. Guglielmi (temps-réel), B. Courty (Électr. digitale), S. Selmane (Electr. analogique), C. Boutonnet (Électr. Digitale), C. Dufour (temps-réel), C. Olivetto (Distribution horloge, dir. Technique), B. Yoffo (contôle projet).

HESS : nouvelles scientifiques (depuis Oct 2008)

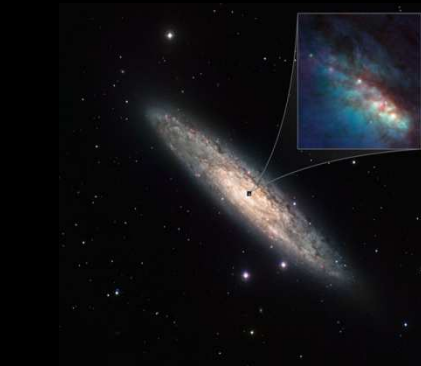
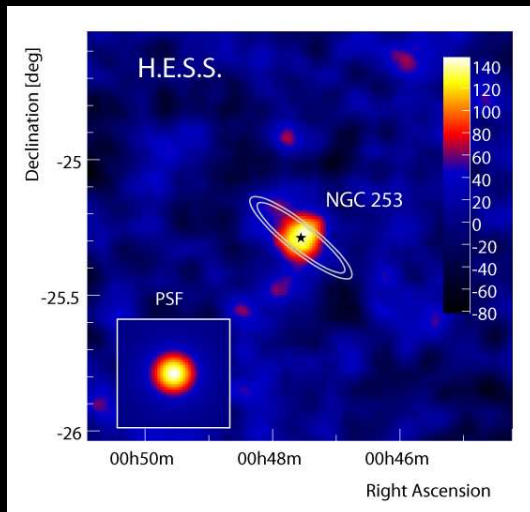
Communiqué de presse + implication APC:

NGC 253 (Science Express), 1^{ère} découverte d'émission γ d'une galaxie « starburst »

Centaurus A (Science), découverte de l'émission γ de la radiogalaxie la plus proche

HESS-Fermi PKS2155-304 campagne, 1^{ère} campagne γ sol-espace

Atel #2293 HESS-Fermi, découverte de **1ES0414+009** (blazar à $z=0.3$)



NGC 253 : HESS mesure l'émission γ de la région centrale « starburst » impliquant un fort taux d'accélération de rayons cosmiques

Centaurus A : une radiogalaxie tellement proche que les mesures futures peuvent permettre de localiser l'émission dans le jet



Centaurus A: Image composite à plusieurs longueurs d'onde ; optique, au sub-millimétrique et en X

Credits, Image: ESO/WFI (Optique); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (Sub-millimétrique); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (rayons X)

Etat d'avancement de HESS-II



Cônes de Winston (APC+LLR)

design, fabrication et tests faits..

Seuil ~ 20 GeV recouvrement FERMI ~ 100 GeV

La caméra et l'acquisition

fonctionnent, et supportent le taux nominale d'acquisition (3kHz)

La système de débarquement/embarquement de la caméra

fonctionne, 2 « stockeurs » de caméra/dummy construits, fin des tests en cours

Construction de la structure de télescope en Namibie en cours

livraison structure télescope prévue fin 2010 :

démarrage prises de donnée printemps 2011

The Cherenkov Telescope Array facility

- CTA, un réseau de télescopes pour explorer le ciel ~ 20 GeV à 100 TeV
- Fondé sur des technologies déjà éprouvées
 - Production scientifique garantie & potentiel de découverte assuré
- Un large réseau de télescopes (>50):
 - Gain en sensibilité : un ordre de grandeur
 - capable de faire des “surveys” du ciel
 - Objectif 1000 sources & nouvelles classes de sources
- > 50 instituts, 14 pays (~ 300 scientifiques), Coût ~ 150 Meuros
- Sites potentiels : Namibie, Argentine, ..., + sites Nord
- Calendrier:

Design studies :	jusqu'à	2009-2010
Construction prototypes :		2010-2011
Construction des réseaux :		2012-2018
Opérations partielle :	début en	2013
Réseaux complet :		2018

Implication de l'APC dans CTA

Implications techniques parmi les « work packages »

WP-QA Qualité et Risque: « lead » de ce WP grâce aux ingénieurs qualité labo et IN2P3

WP-ELEC : trigger central, sur la base de l'expérience au labo sur communications (CELESTE, AUGER, PEGASE), et production en masse de cartes intégrées avec FPGA, ASIC (pour AUGER)

Autres WPs physique et data

WP-MC, développement de méthodes d'analyse avancées.

WP-FPI, cônes de Winston

WP-DATA : Possibilités d'implication du Centre F. Arago dans le traitement de données en tant que Tier-2 à l'étude

WP-MGT : Proposition pour Project Office CTA @ APC pour la phase préparatoire en cours de discussion avec le consortium

INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysical Laboratory

- Mission spatiale d'astronomie gamma (20 keV – 10 MeV) de l'ESA, avec un imageur gamma IBIS (20 keV - 5 MeV) et un spectromètre SPI (20 keV-10 MeV), plus 2 moniteurs (optique et X). Mode observatoire avec un centre de données (ISDC)
- Objectifs scientifiques:
 - Astrophysique nucléaire, raie d'annihilation e^+/e^- galactique
 - Emission X et gamma d'objets compacts galactiques / extragalactiques
 - Physique de l'accrétion et de l'éjection
 - Accélération de particules et phénomènes non-thermiques
 - Sursauts gamma et sources transitoires
- Lancé en 2002, opérationnel depuis, sans défauts importants, extension de la mission approuvée par l'ESA jusqu'à 2012
- Forte participation française (CNES) dans le développement de deux instruments principaux, SPI (PI CESR-Toulouse) et IBIS (co-PI SAp/IRFU-Saclay) et dans le support à l'ISDC (co-I SAp/IRFU-Saclay), notamment avec le développement de la camera ISGRI (CdTe) au SAp/IRFU-Saclay.



INTEGRAL A L'APC

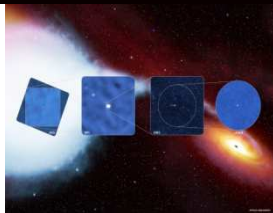
- Une partie du groupe INTEGRAL (IBIS, ISDC) du SAp / IRFU Saclay a rejoint l'UMR APC. INTEGRAL est une opération scientifique (exploitation)
- Groupe INTEGRAL à APC actuel : 4 permanents (3 SAp / IRFU dont F. Lebrun le Co-PI de IBIS, 1 CNRS), 3 post-docs, 1 étudiant
A. Goldwrum, P. Laurent , F. Lebrun, R.Terrier, F. Mattana, M. Renaud, V. Beckman, G. Trap
- Travail en étroite collaboration avec la partie non-APC (UMR AIM) du SAp / IRFU du projet INTEGRAL-IBIS (3 permanents, 3 post-docs).
Responsabilité globale assurée par F. Lebrun.
- Travail APC : suivi et réglage paramètres de la camera ISGRI d'IBIS, étalonnage ISGRI/IBIS, développement et maintien des logiciels d'analyse ISGRI/IBIS pour la communauté (à l'ISDC)

INTEGRAL

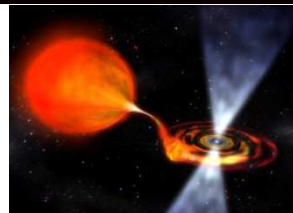
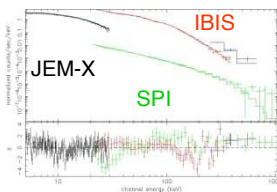
- Thèmes scientifiques APC :
 - Objets Compacts galactiques (trous noirs et étoiles à neutrons, XRB) AG, GT, PL
 - Centre Galactique (trou noir supermassif, nuages moléculaires) : AG, RT, GT
 - Emission diffuse gamma et catalogue de sources : PL, FM, MR, RT, FL
 - Restes de SN, Pulsars isolés et Nébuleuses de pulsars. RT, FM, MR
 - Noyaux Actifs de Galaxies VB

Spécificité : synergie avec gamma au TeV (HESS) et rayons X (XMM)

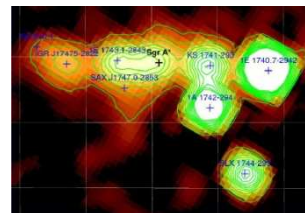
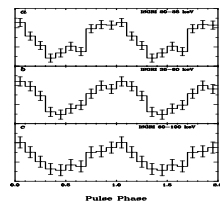
INTEGRAL / IBIS / ISGRI image of the Galaxy



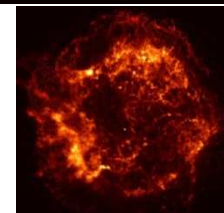
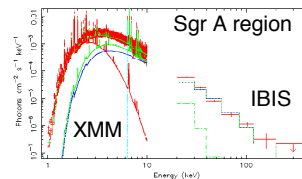
Galactic Black Hole Binary Cyg X-1



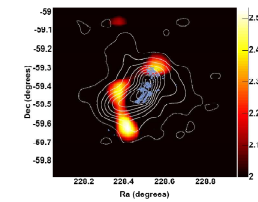
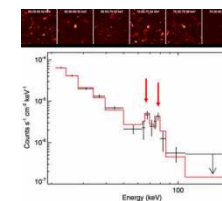
Millisecond Binary X-Ray Pulsar



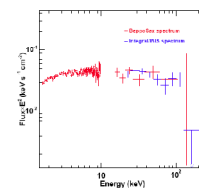
High Energy source at the Galactic Center



SuperNova Remnant Cas A ⁴⁴Ti lines



Pulsar Wind Nebula



Antares at APC - Novembre 2005



**Luciano Moscoso
(retired)
2 year Scientific
Consultant CEA**

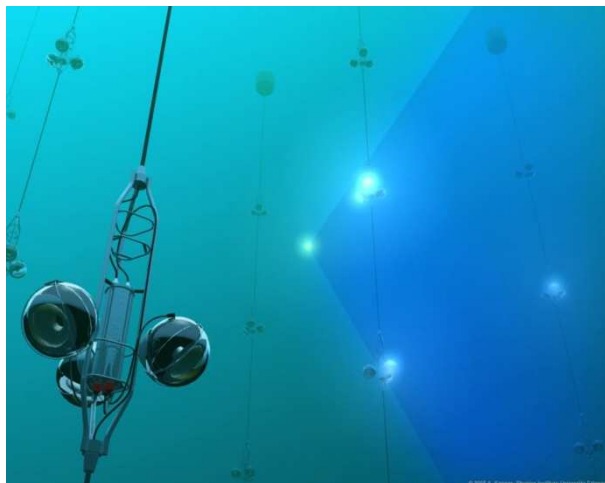
**Thesis Supervisor
Physics Studies**



**Antoine Kouchner
Maître de Conférence
Paris 7
(Hired 2002 APC/Antares)**

**ARS Calibration
Physics Studies**

2002 – 2006 : Saclay
Electronique frontale



APC membre officiel d'ANTARES en fin 2005



Antares à APC - janvier 2010



C. Donzaud

2004 – 2005 : Saclay

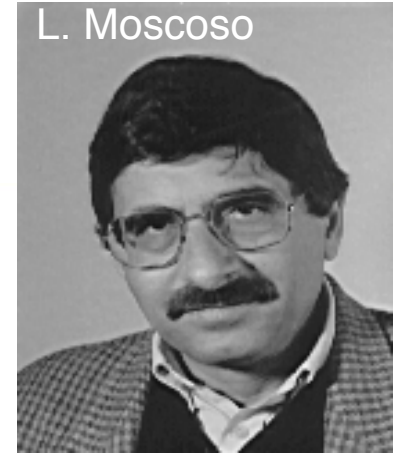


V. V. Elewyck



B. Baret

ANR OYSTER



L. Moscoso

Attaché scientifique depuis janvier 2010



J. Aublin

FP6 KM3NeT



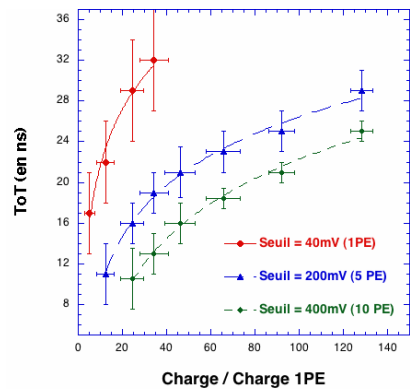
C. Picq

Thèse CFR
Co-encadrement SPP- APC

Chercheurs associés 2009-2011



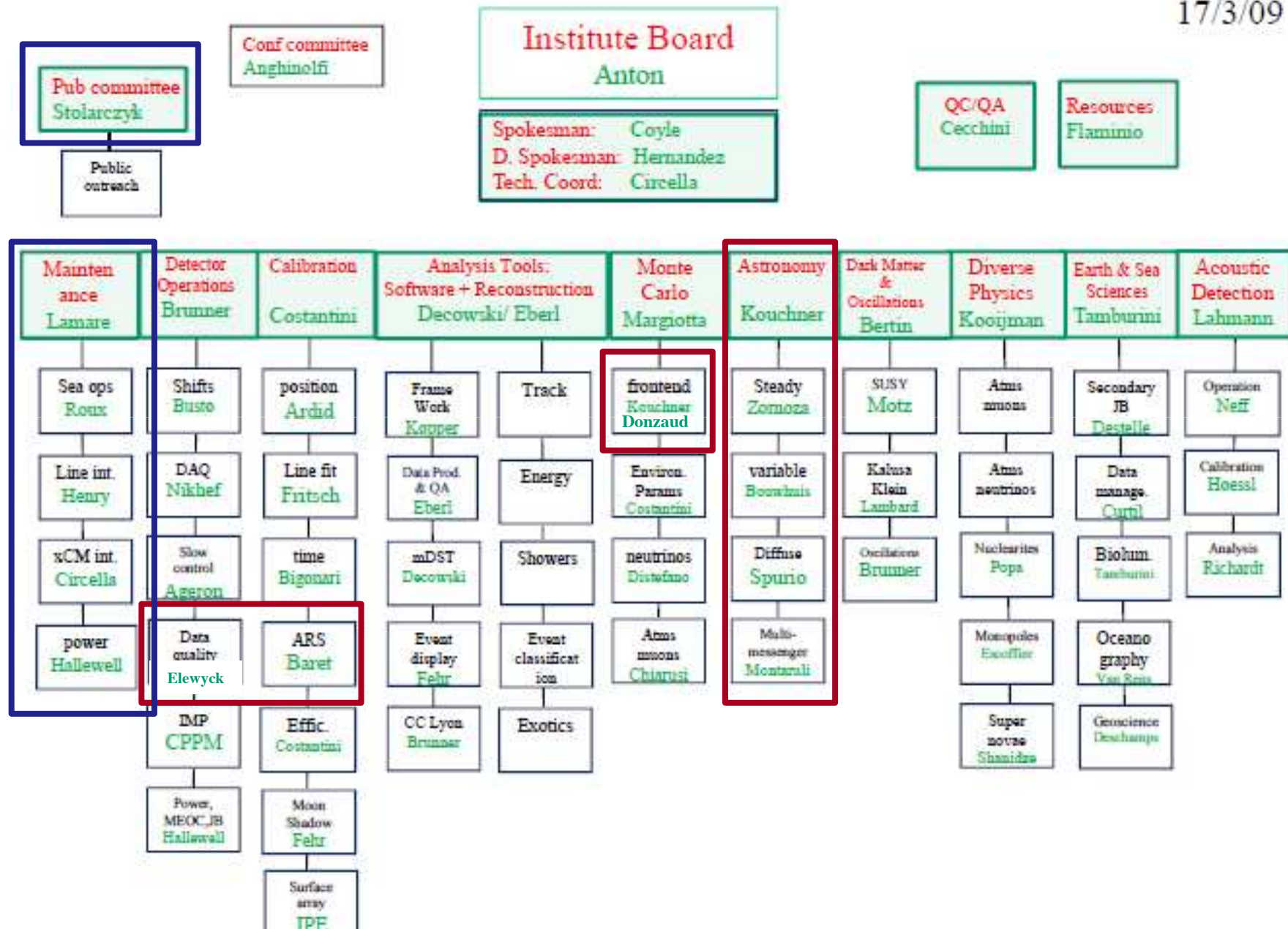
B. Vallage S. Loucatos



Collaboration étroite avec Saclay

Responsabilités APC

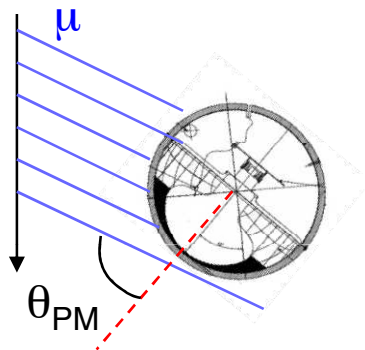
17/3/09



Mesure du flux de muons atmosphériques

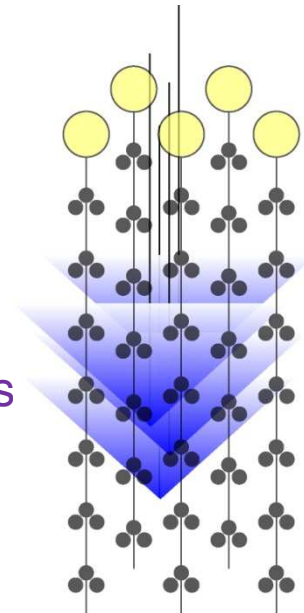
☞ Thèse de Claire Picq (soutenue le 18 juin 2009) co-encadrement SPP-APC

- Les muons constituent un « faisceau » utile à la compréhension du détecteur
- Un sujet d'étude difficile



- Orientation des modules optiques
⇒ Acceptance marginale et mal connue
Grande incertitude systématique

- Les événements qui passent les filtres sont des gerbes atmosphériques contenant plusieurs muons (multi-muons)
⇒ Nécessite une simulation fiable

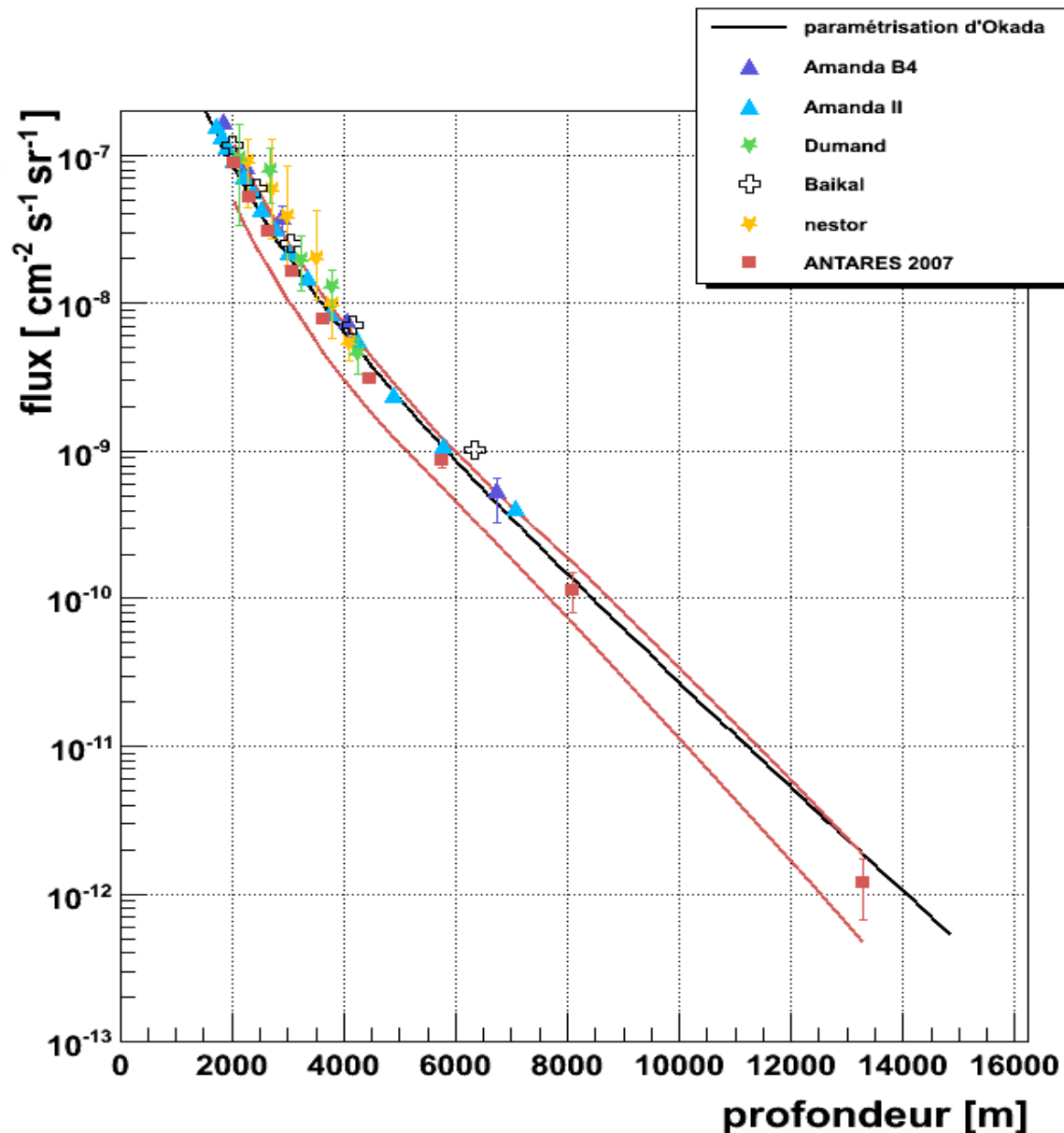


- Les données à 5 lignes de juin 2007 (17,8 jours)

- ligne de base < 120 kHz
- fraction de sursauts de bioluminescence < 20%

} $2.16 \times 10^6 \mu$

Résultat



- Bon accord avec les données mondiales
- Donne confiance dans la compréhension du détecteur
- Il est nécessaire de réduire les incertitudes systématiques

Banc de test optique à APC

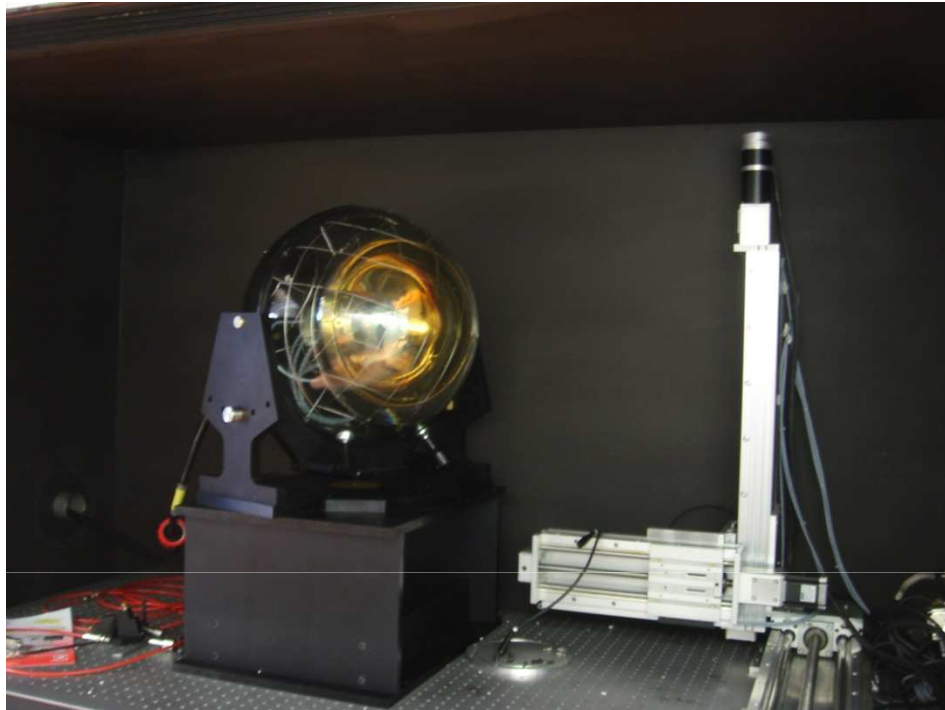


Photo-détection : dispositif à mouvement X, Y, Z, θ, ϕ

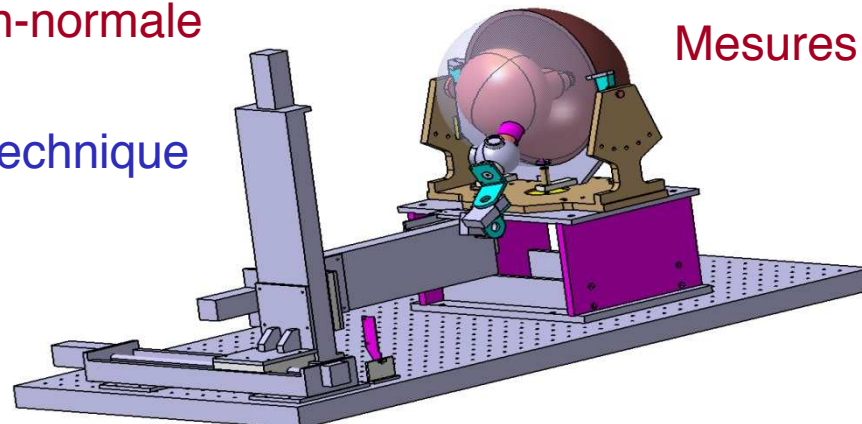


Brevet France N° 06/09088 :
« Méthode pour déterminer l'efficacité d'un appareil optique et dispositif pour réaliser une telle méthode » P. Gorodetzky

Mesures à incidence non-normale

☞ Possible contribution technique pour KM3NeT

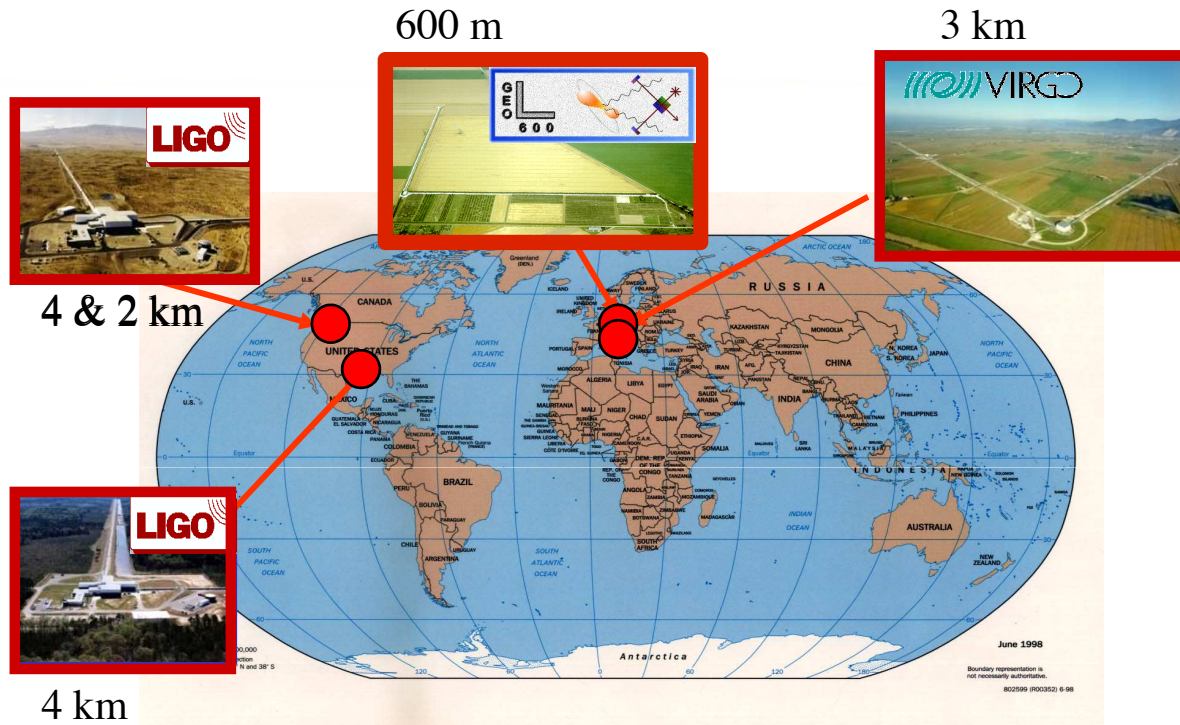
Mesures au photoélectron



Priorité à court terme : analyse des données

Les interféromètres gravitationnels:

Le groupe de travail GWHEN

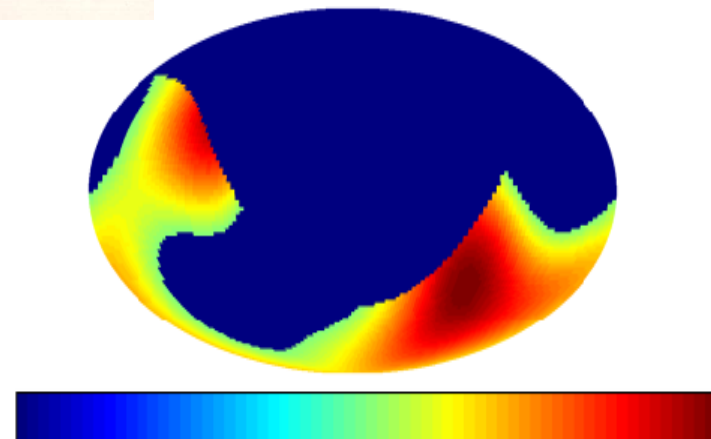


Thèse de
Boutayed Bouhou

Co-encadrement
A. Kouchner
E. Chassande-Mottin

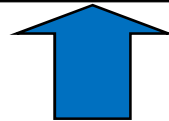
Couverture céleste commune
VIRGO+LIGO+ANTARES
en coordonnées géocentriques ~ 30%

Workshop GWHEN, APC, mai 2009
<http://www.gwhen-2009.org>



ANTARES - GWHEN

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
ANTARES KM3NeT	5L	10L	12L							KM3NeT	
VIRGO	VSR1		VIRGO+						Advanced VIRGO		
LIGO	LSR1		eLIGO						Advanced LIGO		



Démarré depuis juillet 2009 !

Memorandum of Understanding (LIGO-M0900278-v1, VIRGO-XXXX)

between the

ANTARES Collaboration

and the

Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO) Scientific Collaboration

Feb 2010 signed by all bodies
(7 signatures)

and

VIRGO

Inclut 5L/VSR1/LSR1 datasets

Vers un détecteur km³ en Méditerranée

Négociations (aspect scientifiques, mais pas les critères principaux...
Leaders français CEA et CNRS (via CPPM)

Source : Th. Stolarczyk & U. Katz

2006- 2009 : FP6 phase d'étude
2008-2011 (2012) : FP7 phase préparatoire



Antares (1/50 km³)
Toulon, France
-2500m @ 40 km

Nemo
Capo Passero, Italy
-3500m @ 100 km

Nestor
Pylos, Greece
-3000m @ 13 km
-4550m @ 26 km
-5200m @ 48 km

KM3NeT

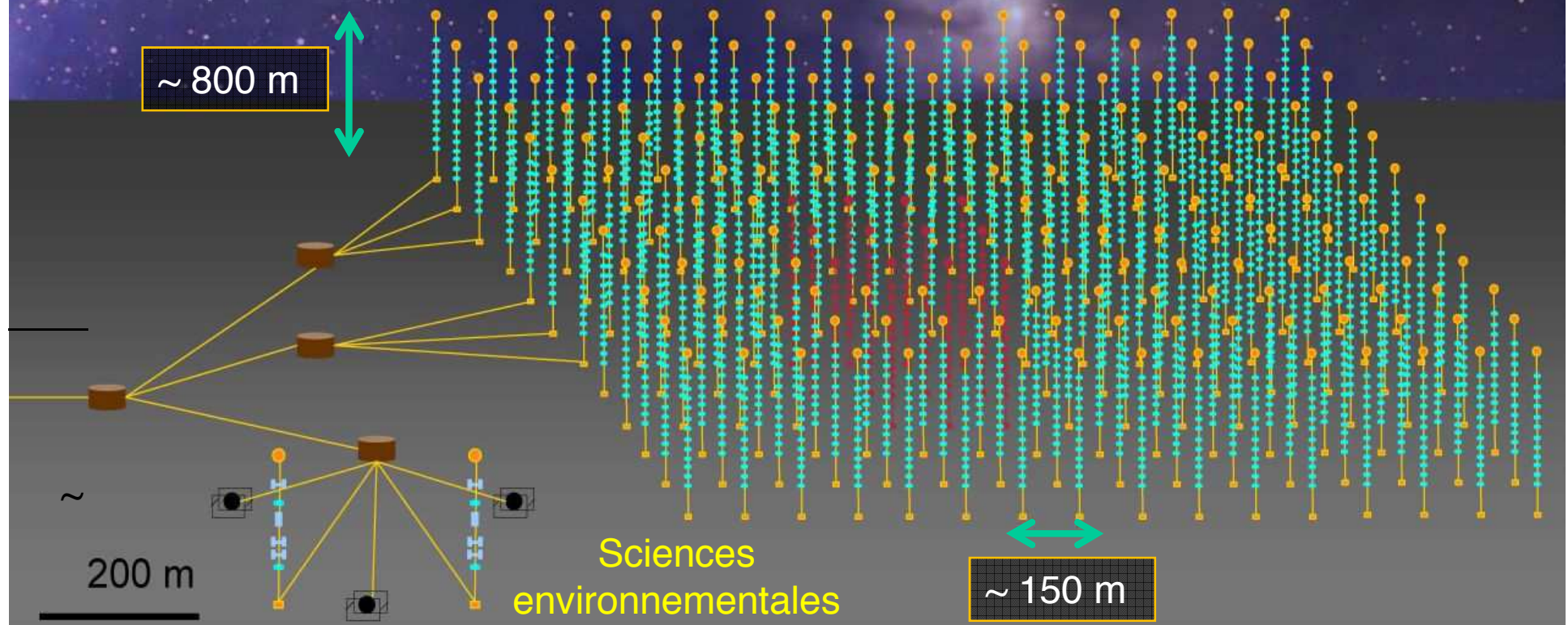
Volume
instrumenté
~ 5 km³

~ 100-200 lignes

~ 20 étages avec photodétecteurs

Espacement vertical ~ 40m horizontal ~ 150-180 m

~ 5000-10000 photodétecteurs



KM3NeT

■ Objectifs scientifiques

- Recherche de sources de neutrinos dans la gamme 1-100 TeV
- Complémente le champ de vue d'IceCube avec une sensibilité supérieure ($\sim 5 \text{ km}^3$)
- Infrastructure ouverte aux sciences environnementales

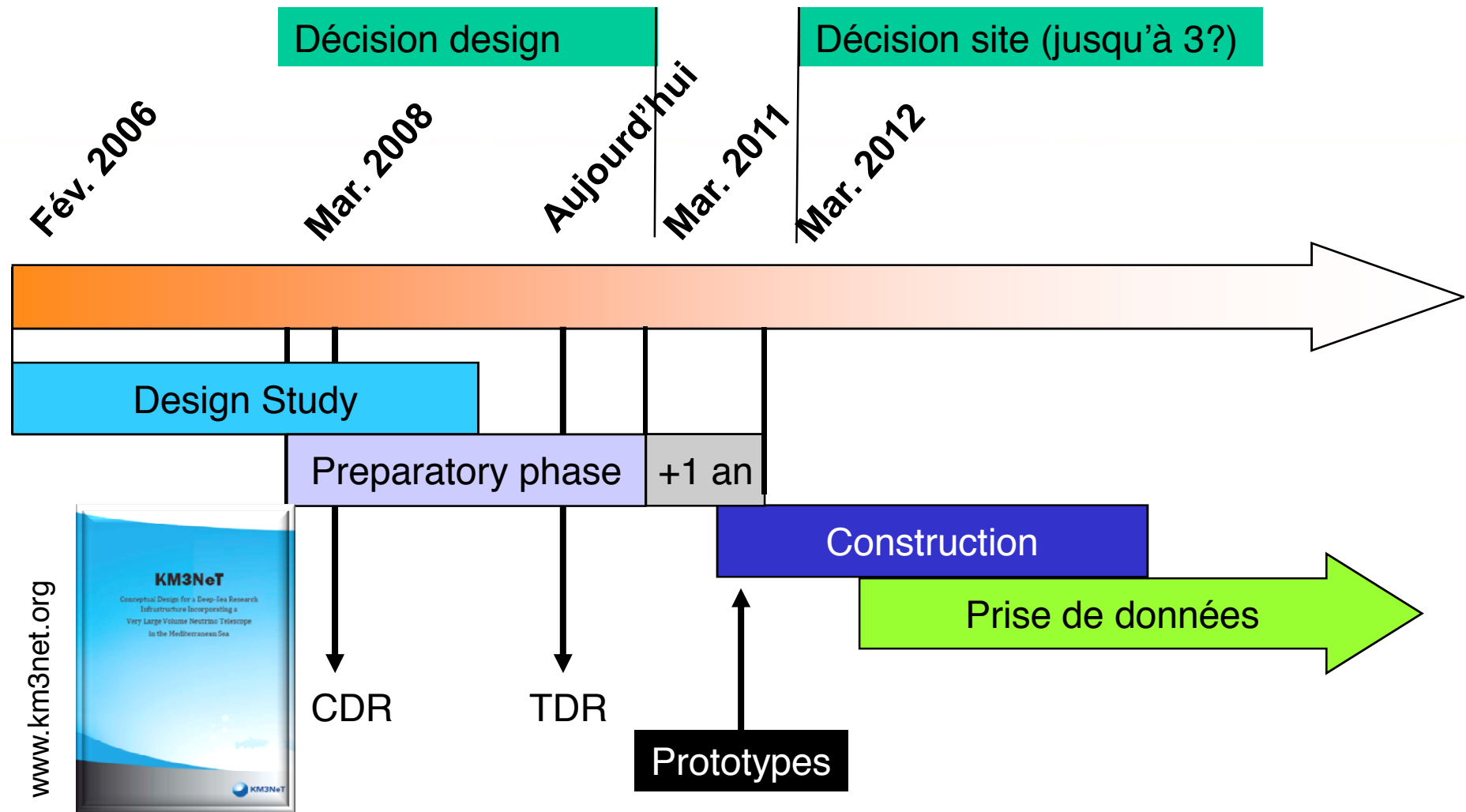
■ Défis techniques:

- Réduction des coûts / ANTARES : $\sim 220 \text{ M€}$ (masse salariale incluse)
- Coût d'exploitation 4-6 M€ par an (2-3% investissement)
- Durée de construction ≤ 5 ans
- Temps de vie > 10 ans (peu de réparation)

■ Etat actuel:

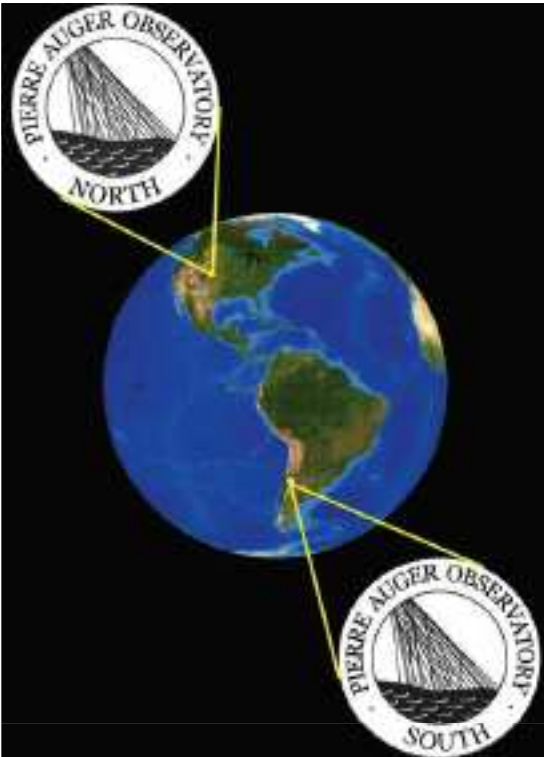
- Dans le TDR : 3 dessins (tours « à la nemo », ligne « à la iceCube », lignes « à la antares ») \Rightarrow processus de convergence initié.
- Modules optiques : multi-pm vs grand pmts
- Electronique, readout, stratégie de déploiement, connectique : solution unique

Calendrier



Les physiciens d'APC doivent se déterminer dans les années à venir...
Le problème des effectifs scientifiques ne doit pas être négligé.

Pierre Auger Observatory



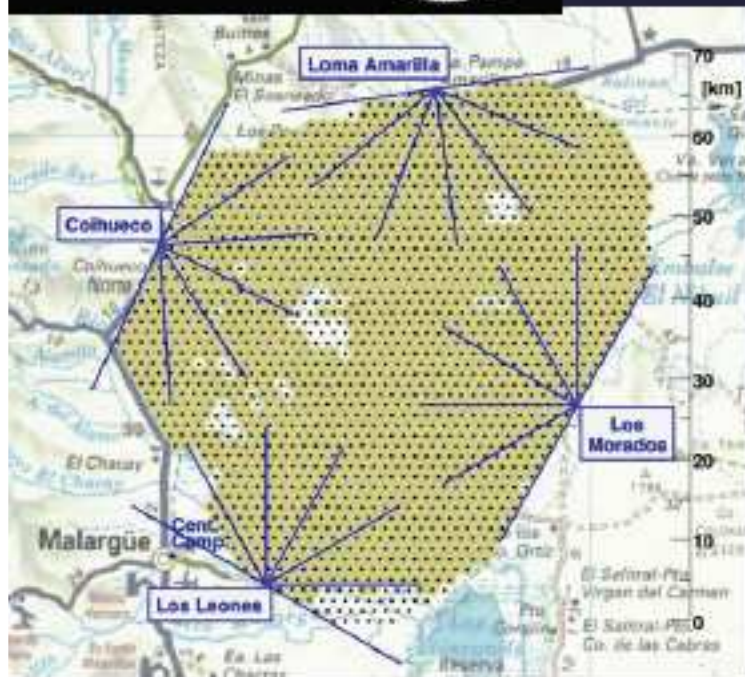
- Hybrid detection of air showers induced by ultra-high energy cosmic rays.
- Southern observatory (Argentina) completed in June 2008.
- Northern observatory planned for Colorado, USA.



Surface Array
1600 detector stations
1.5 km spacing
3000 km²



Fluorescence Detectors
4 Telescope enclosures
6 Telescopes per enclosure
24 Telescopes total



Auger à l'APC

Denis Allard	CNRS	
Cyril Lachaud	MdC P7	
Etienne Parizot	Prof P7	
Gérard Tristram	CNRS	retraité
Guillaume Decerprit	Thèse 3e année	
Stéphane Colonges	AI	20%
Bernard Courty	IE	60%
Laurent Guglielmi	IR	40%

Physiciens
permanents

Physicien non permanents

Electroniciens

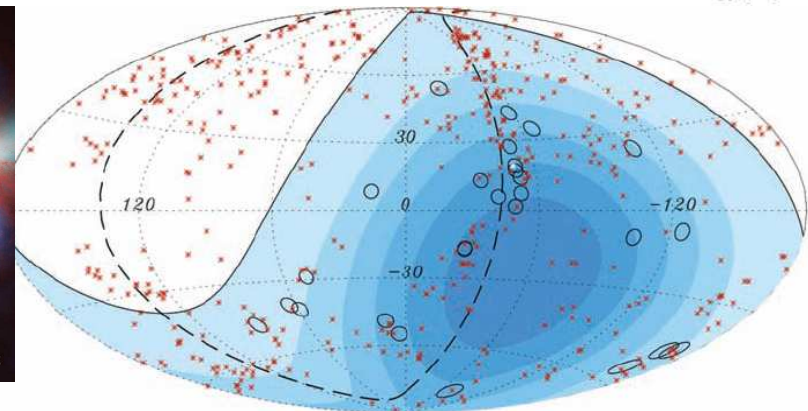
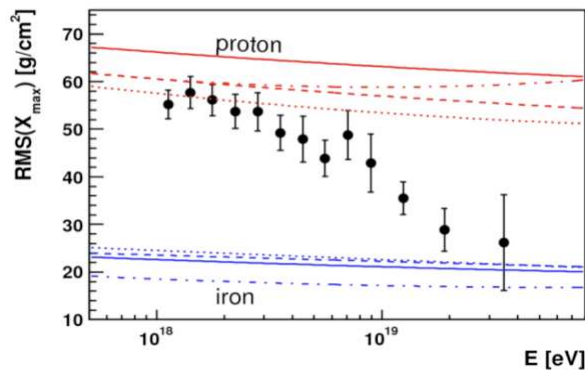
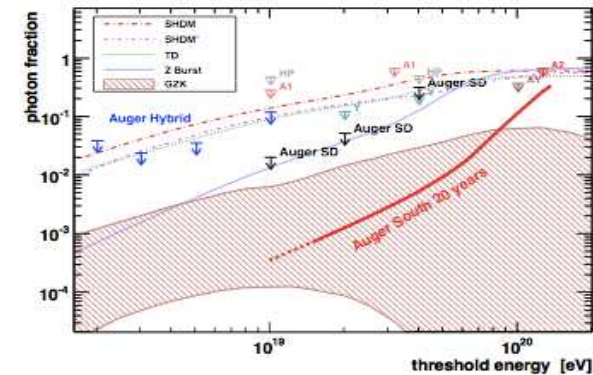
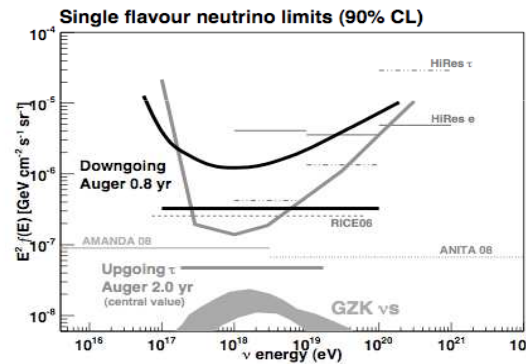
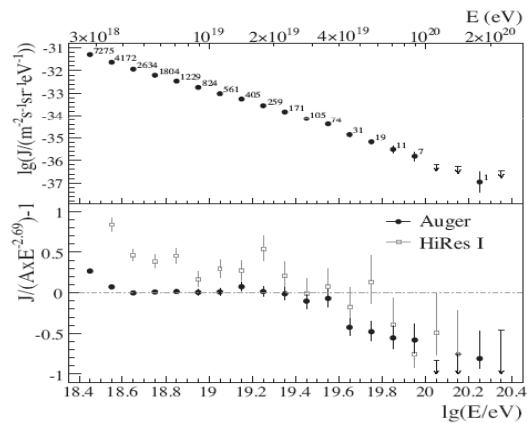
Informaticien

Group activities :

- electronics : hardware and software for the local stations (unified board)
- data analysis : acceptance and spectrum, anisotropies
- online monitoring
- phenomenology : UHE proton and nuclei propagation, photons and neutrinos emission, acceleration at the source, modeling of the UHE sky

Actualités d'AUGER Sud

- Flux suppression above $3-4 \cdot 10^{19}$ eV \rightarrow compatible with GZK expectations \rightarrow relatively local origin for the highest energy events
- Anisotropy above about $5-6 \cdot 10^{19}$ eV.
- Photon limit \rightarrow strong constraints on top-down models
- Limit for GZK neutrinos \rightarrow will soon constrain the most optimistic cosmogenic neutrinos expectations
- Composition/Hadronic physics \rightarrow heavy nuclei at HE or new hadronic physics

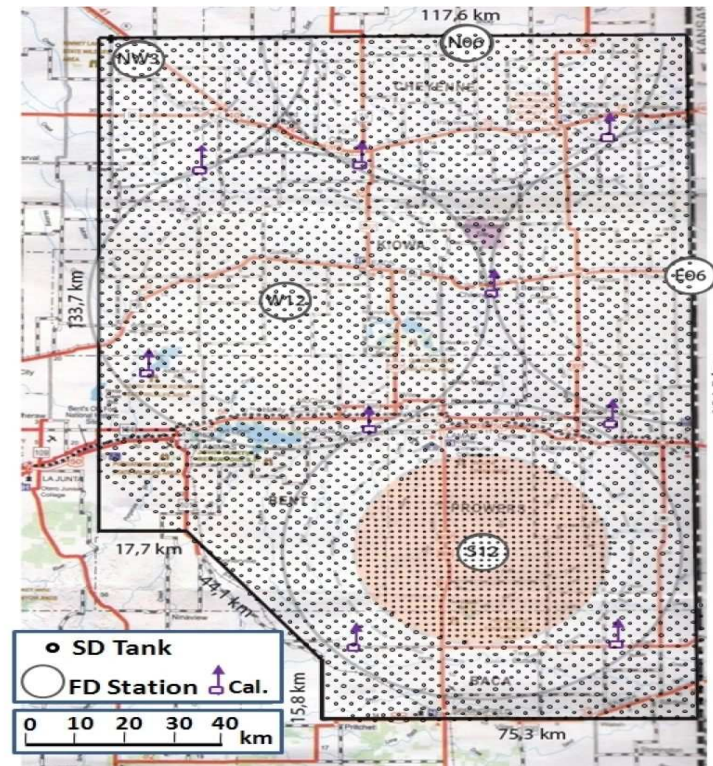


Auger Nord

- ✓ 4,000 SD stations will be deployed on a rectangular pattern over a total area of 20,000 km² with a detector spacing of $\sqrt{2}$ miles (2.3 km).
- ✓ Infill of 400 additional SD stations will be placed on a 1-mile grid.



- ✓ The total area will be covered by 39 FD telescopes with estimated viewing of 40 km placed in 5 different sites.



R&D Array

- 10 SD detector stations + 10 additional COMMS stations.
- Prototypes currently being tested.
- Deployment planned late 2010.

Once the funding sources are secured, the deployment of the full array should last five years before completion

Group activities :

- electronics : hardware and software for the local stations (unified board) for the R&D Array and the production phase
- science case
- design studies

Simulation de gerbes

- Bias on S(600) and AGASA super-GZK (J-N. Capdevielle)

(RapporteurTalk présenté à ICRC 2009)

co-auteurs de CORSIKA

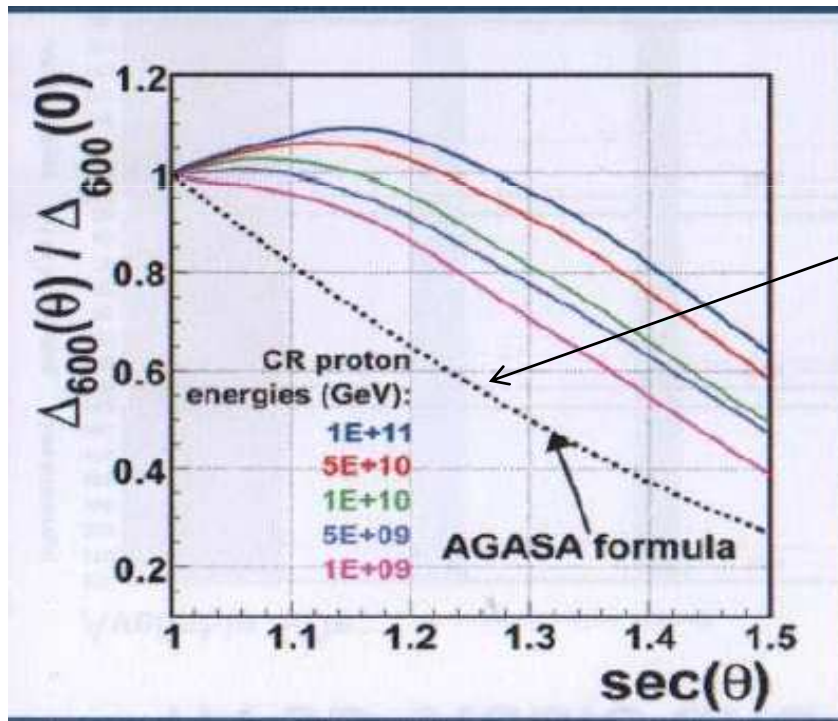
Réinterprétation des données de AGASA

Modification du traitement des gerbes inclinées de 10^{20} eV

Surestimation de la correction à apporter

⇒ Au moins 14 des 16 gerbes d'AGASA au dessus de 10^{20} eV sont en réalité en dessous de 10^{20} eV).

La méthode de traitement des gerbes inclinées et de mesure de l' énergie primaire est naturellement utilisée par Telescope Array.

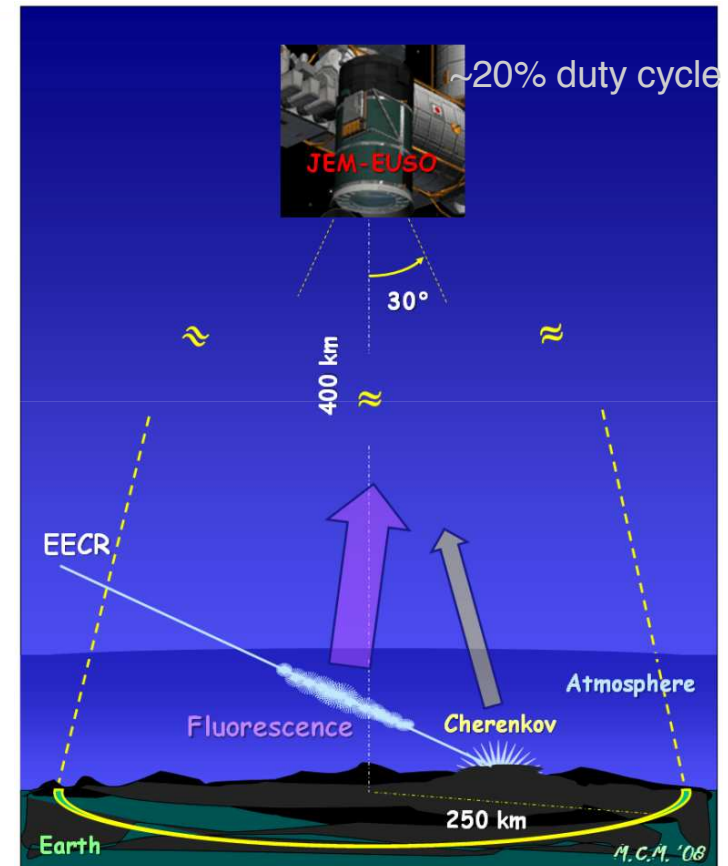
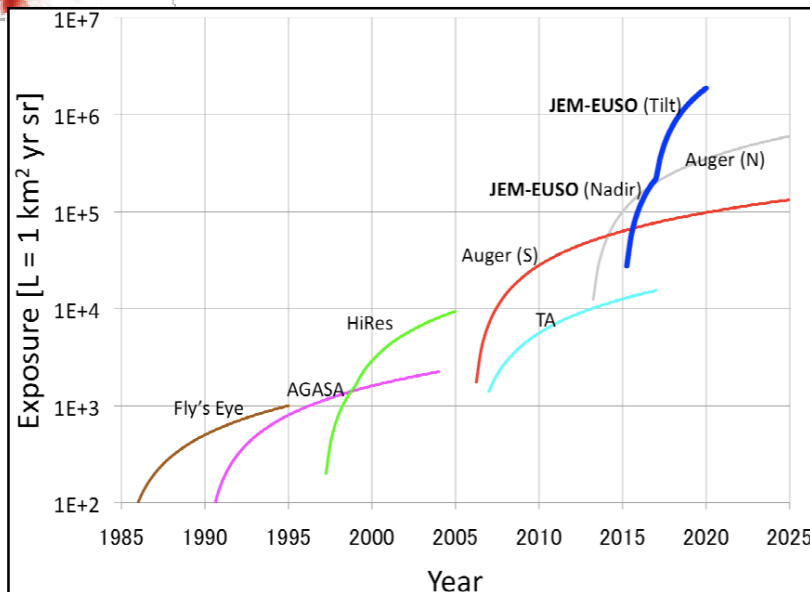
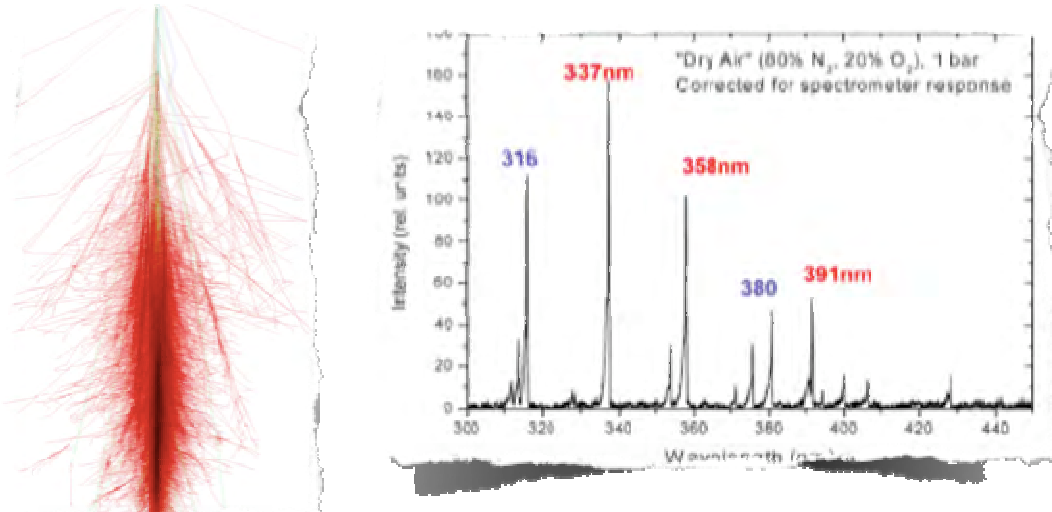


S600 = signal osbervé à 600m du coeur de la gerbe

JEM-EUSO: original concept

UHECRs from space

10^{12} tons of air at once



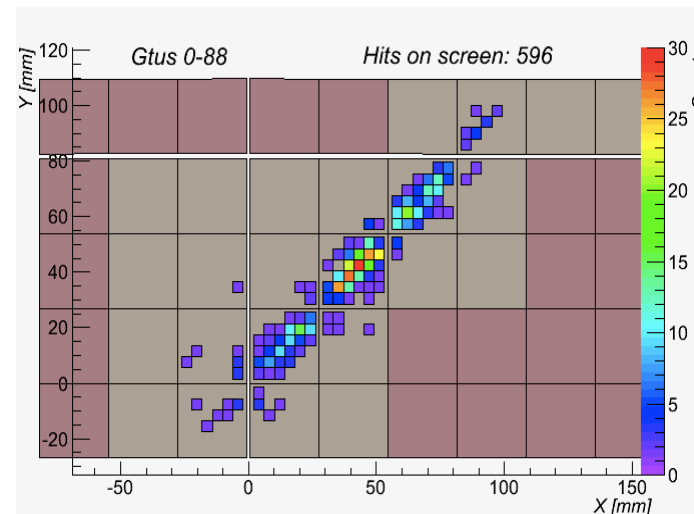
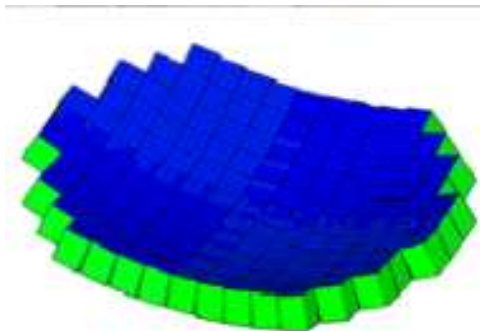
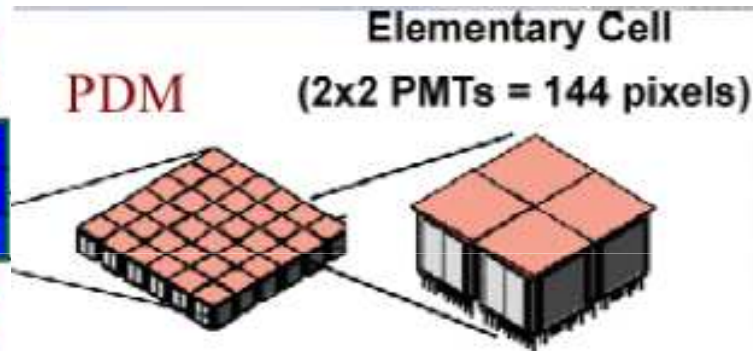
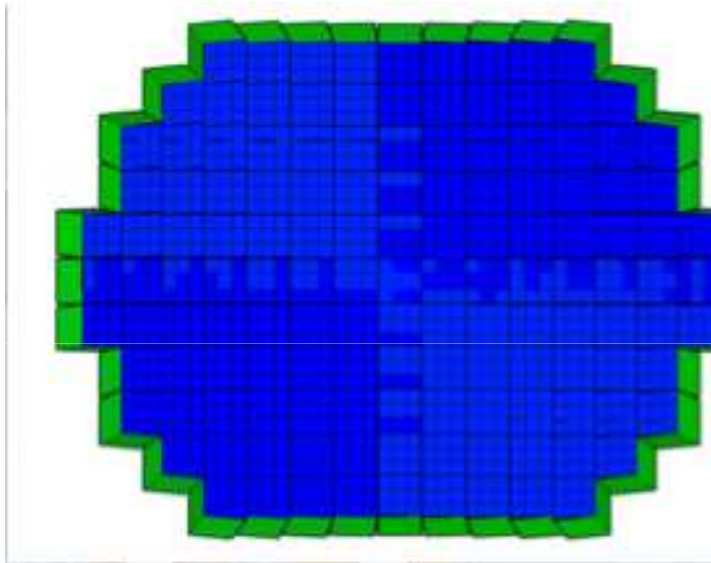
$\sim 170\,000$ km² on the ground

JEM-EUSO en France

- APC Expertise en photo-détection et calibration
+ expérience sur EUSO (brevet 06/09088, P. Gorodetzky)
→ Calibration absolue de la surface focale
Physiciens: D. Allard, J.-N. Capdevielle, J. Dolbeau, P. Gorodetzsky, E. Parizot, D. Semikoz + Ingénieurs
- LAL Expertise en micro-électronique
→ Électronique de front end, ASIC
- APC et LAL (methode originale + accélérateur PHIL)
→ Mesure précise (qq %) du rendement de fluorescence
- Expertise scientifique (UHECRs, gerbes, Auger)
- Simulations end-to-end, reconstruction, analyse

The focal surface

4932 PMTs, 3.156 Mpixels



Conclusions

- De nombreux projets (multi-longueur d'onde et multi-messagers, sol, espace, sous-terrain, sous-marin) pour aborder les grandes questions du moment:
 - Accélération des particules dans l'Univers
 - Etude et compréhension des sources de haute énergie
 - Implications pour la physique dans des environnements extrêmes



Garder
un lien avec
la physique
des particules

...Et bravo à Thierry !