

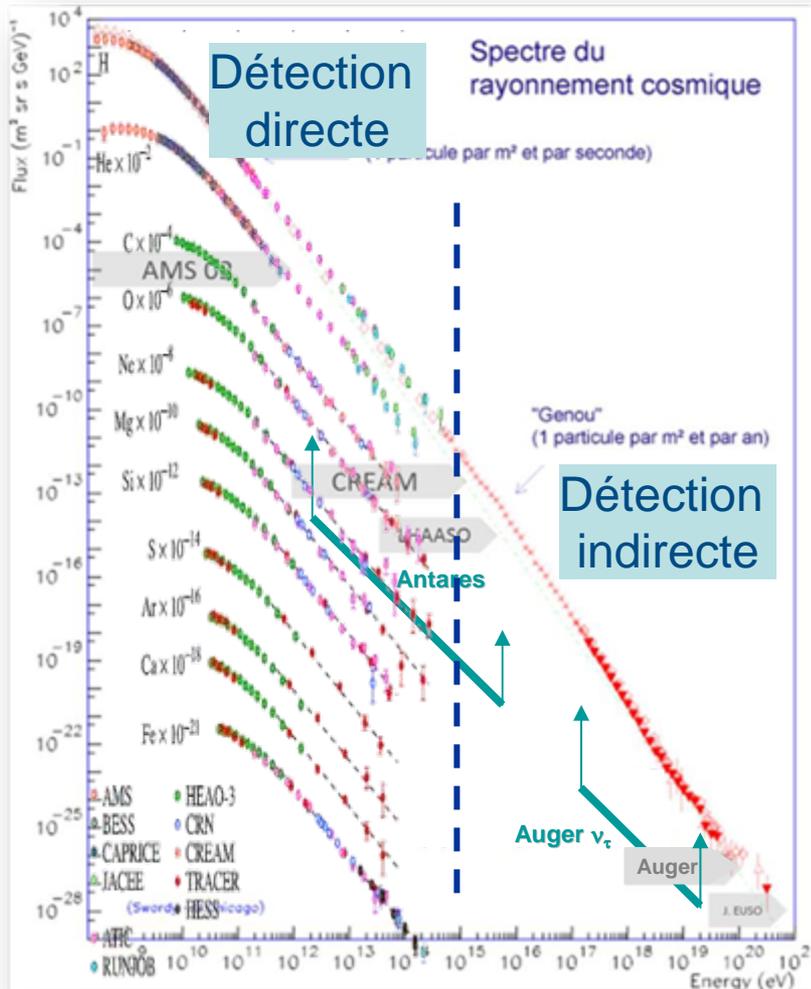
# Neutrinos et Rayons Cosmiques Chargés.

Le GT5

avec l'aide, en particulier de

Pascal Coyle, Richard Dallier, Laurent Derome,  
Piera Ghia, Antoine Kouchner, Sylvie Lees-Rosier,  
Antoine Letessier-Selvon, Lilian Martin,  
Etienne Parizot, Fabian Schüssler, Thierry Stolarczyk,  
Tiina Suomijarvi, Claude Vallée.  
François Montanet.

# Tour d'horizon



## Expériences en cours :

- Antares
- AMS
- CREAM
- Pierre Auger Observatory

## R&D en cours :

- R&D détecteurs sous-marins
- R&D radio-détection
- Vol ballon pour JEM-EUSO
- R&D détecteurs au sol

## Projets futurs :

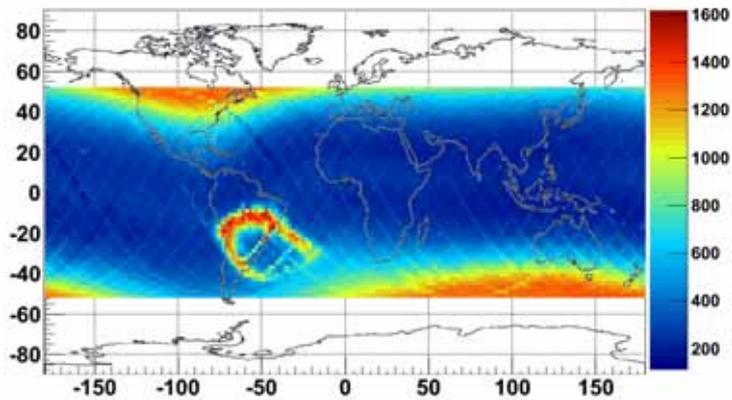
- KM3NET/MEUST
- JEM-EUSO
- Futur détecteur au sol à UHE

Expériences en cours

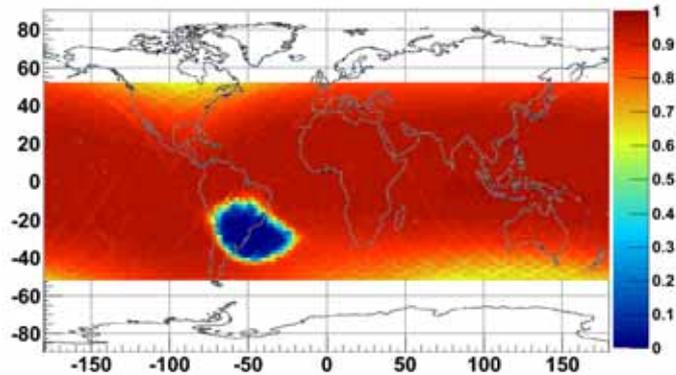
# AMS on ISS

## collected almost 14 billion events

### Acquisition rate [Hz]



### DAQ efficiency

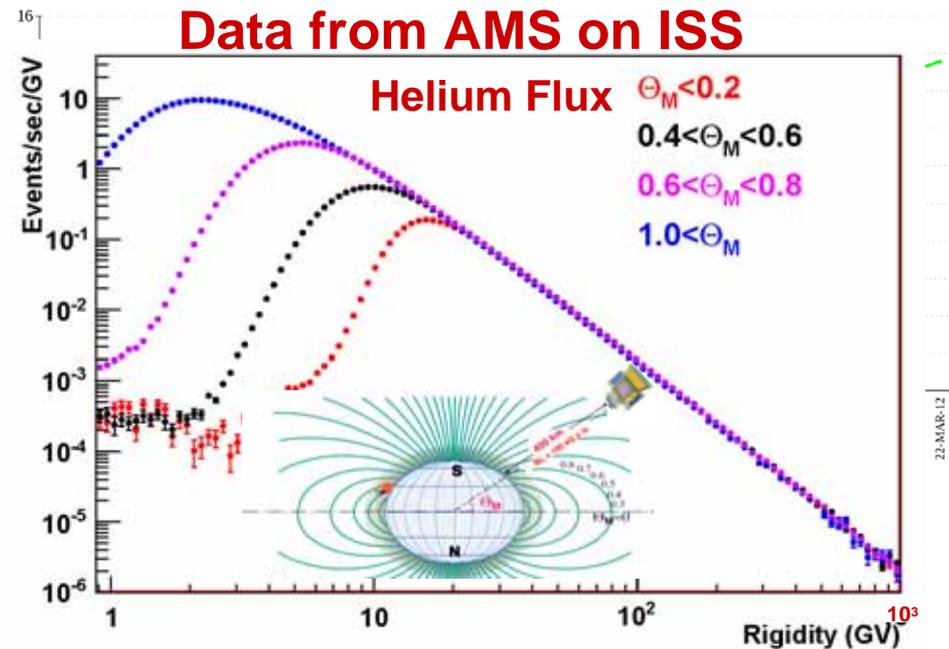


The detector runs extremely well  
Physics results soon.

Particle rates vary from  
200 to 2000 Hz per orbit

On average:  
DAQ efficiency 85%  
DAQ rate ~700Hz

### Data from AMS on ISS



# CREAM

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

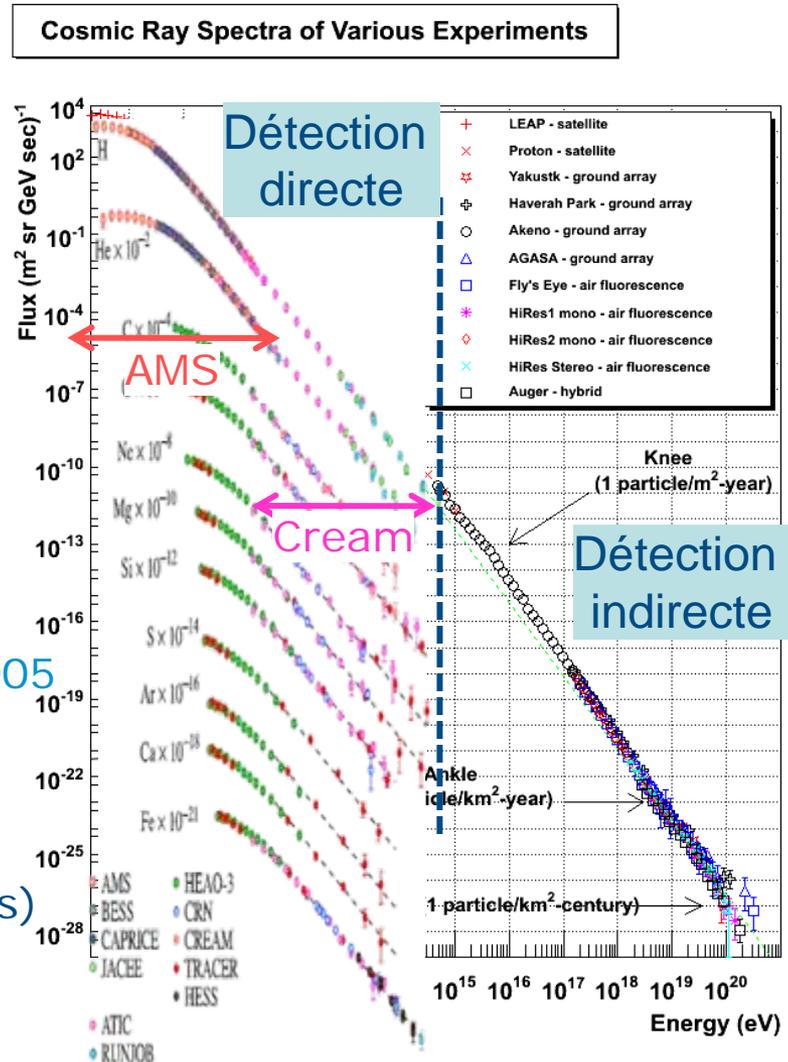
→ Source & propagation RC jusqu'au genou



Participation au programme CREAM depuis 2005  
(4 campagnes de vol- 90 jours cumulés)

Futur du projet :

- Vol ballon Ultra Longue durée (~ 100 jours)
- Spatialisation (ISS)



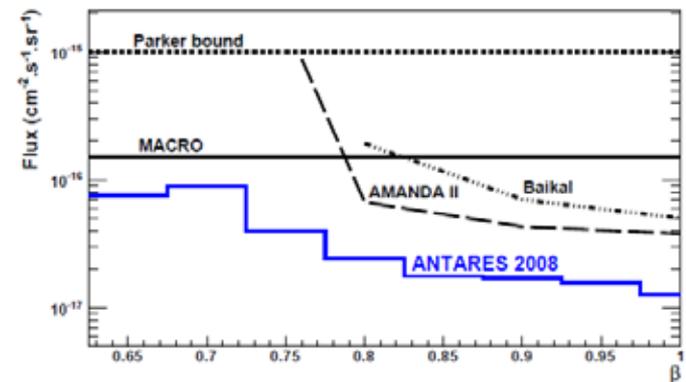
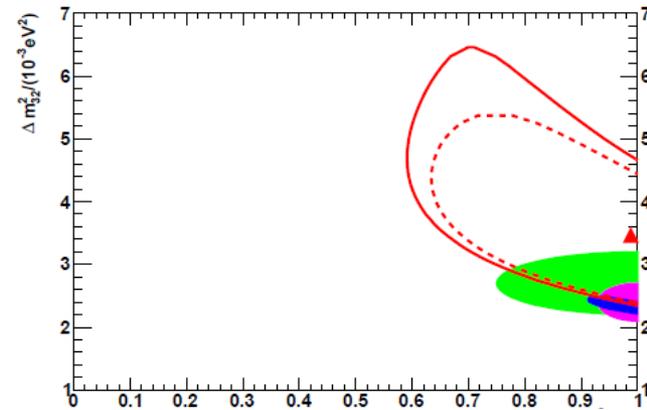
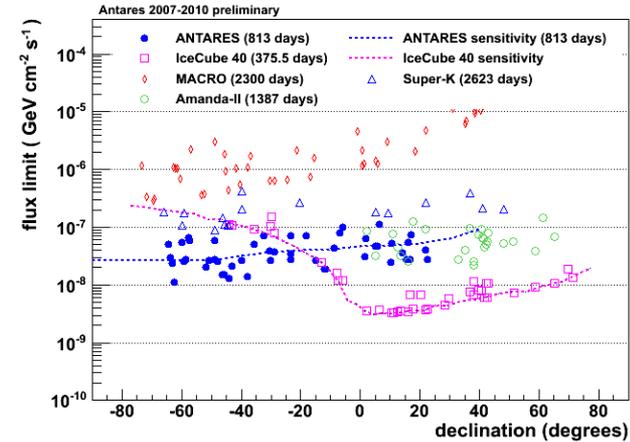


# ANTARES

- 12 lignes de 450m à 2500m de profondeur au large de La Seyne sur Mer
- Prise de données avec la configuration complète depuis 2008
- Collaboration internationale: ~150 physicien(ne)s de 29 instituts (9 pays)

## Le programme scientifique :

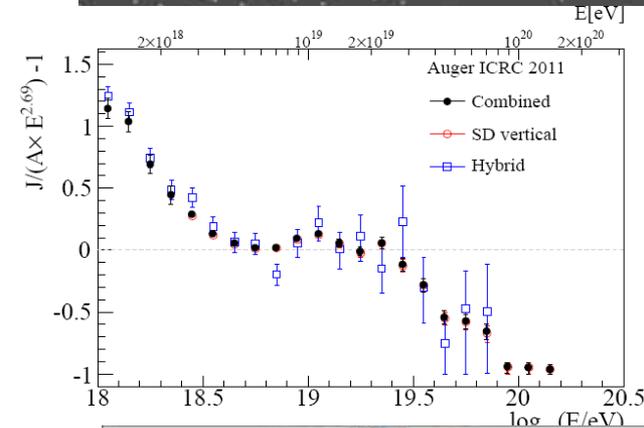
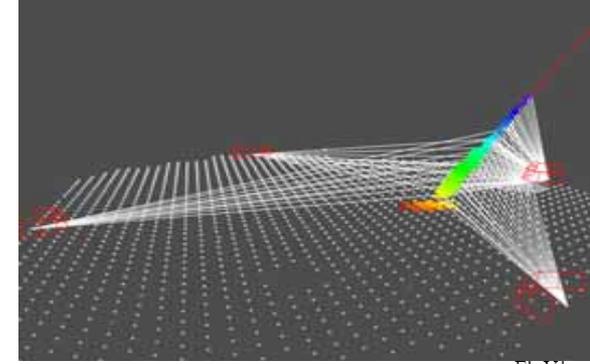
- Recherche de sources ponctuelles et flux diffus: sources galactiques, 100 GeV - 100 TeV
- Données compatible avec le flux de neutrinos atmosphériques; meilleures limites mondiales sur l'hémisphère sud (complémentaire avec IceCube)
- Multi-messager
  - Corrélations en direction et temps avec Fermi, Rayons-X, GRBs, Virgo-Ligo, (Auger), ...
  - Reconstruction en temps réelle: alertes suivi par un réseau de télescopes optiques
- Riche programme scientifique: matière noire, oscillations de neutrinos, monopoles magnétiques, nucléarites, sciences environnementales, ...



# AUGER

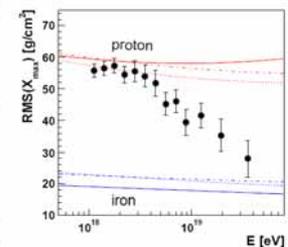
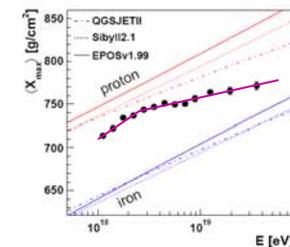
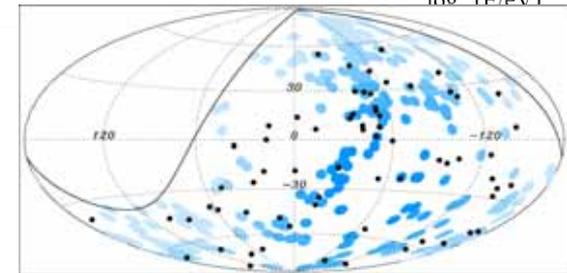
## L'observatoire :

- Plus grand détecteur de RC jamais construit (3000km<sup>2</sup>).
- 499 chercheurs, 19 pays, 6 groupes IN2P3 et 30 chercheurs en France.
- Détecteur hybride (SD+FD) : précision inégalée, dépendance aux modèles et systématiques réduites.
- Début d'installation 2000, exploitation scientifique depuis 2004, complété en 2008.
- Extension à basse énergie maintenant opérationnelle (10<sup>17</sup>eV <- cheville, transition G->EG et second genou).
- R&D détection radio sur le site : AERA, EASIER,
- La compétition/complémentarité internationale actuelle : Telescope Array dans l'Utah (USA-Japon).



## Résultats : >30 papiers depuis 2004

- Le spectre des RCUHE : cheville (4.10<sup>18</sup>eV) et atténuation vers (3.10<sup>19</sup>eV).
- Ciel isotrope en dessous de 55 EeV, anisotropies au dessus (corrélation affaiblie).
- La composition : du léger (proton) au lourd (Fe) (modèles hadroniques ?).
- Modèles hadroniques en difficulté pour reproduire le nombre de muons mesurés : physique testable au LHC.
- Fraction de photon et limites sur les flux de neutrinos: modèles TOP-DOWN mal en point.



# L'importance des confrontations avec d'autres observables

- Exemples multi-messagers :
  - Recherches de sources communes  $\gamma$   $\nu$  RC en corrélation spatiale
  - GRB en corrélation spatiale et temporelle
  - Signature DM en  $\gamma$  et  $\nu$
  - Nature et propagation des RC et fonds diffus  $\gamma$  et  $\nu$
  - Projets combinant  $\gamma$  et RC (LHAASO) ou UHERC,  $\gamma$  et  $\nu$  (AUGER)
- Interactions RCUHE-HEP :
  - LHC études de la production hadronique à l'avant (LHCf, TOTEM, ALPHA, ATLAS, CMS) : essentielles pour contraindre les modèles hadroniques.
  - RCUHE : exploration des interactions hadroniques à  $E_{\text{cm}} \times 10$  à  $\times 100$  LHC.

# Les défis scientifiques et technologiques à relever

- Télescopes neutrinos sous-marin :
  - Atteindre la taille critique (plusieurs km<sup>3</sup>)
  - Compléter la couverture du ciel
  - Faire plus grand, aussi fiable et... moins cher !
- RC galactiques :
  - Comprendre les fonds de la nouvelle physique (DM).
  - Contraindre les modèles de propagation.
  - Comprendre la nature des sources : E<sub>max</sub>, indice spectral, sources locales...
  - Flux et Composition du GeV au genou (direct) et au dessus du genou (indirect).

# Les défis scientifiques et technologiques à relever

RCUHE :

Raccordement RC Galactiques / RC extragalactiques

Test des modèles hadroniques à  $E_{\text{LHC}}$

→ le spectre, la composition et l'étude détaillée des gerbes de  $10^{17}$ eV à la cheville.

Trouver les sources :

- Exposition  $\times 10$  Auger et Energies  $> 5 \times 10^{19}$ eV.

→ Deux voies : au sol  $> 25\,000\text{km}^2$ , de l'espace  $200\,000\text{km}^2 \times 13\%$

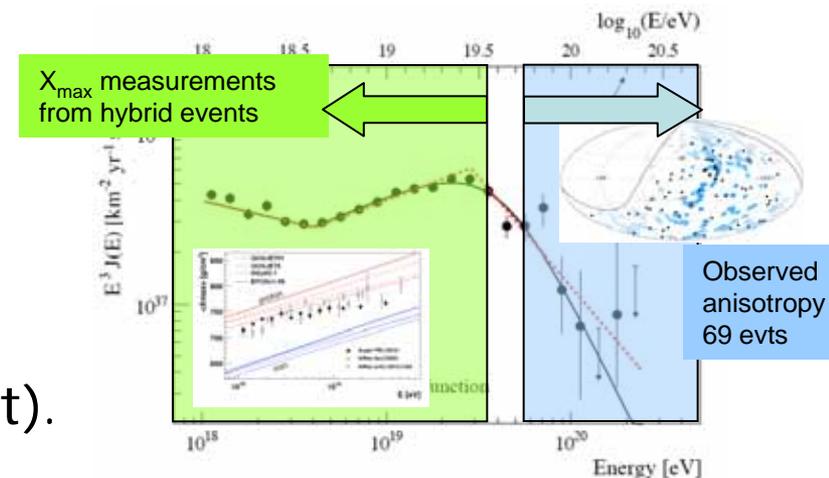
Composition,

Physique à UHE,

Champs magnétiques :

- La nature de la composante anisotrope  $> 5 \times 10^{19}$ eV.

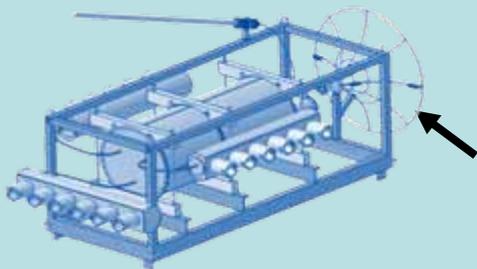
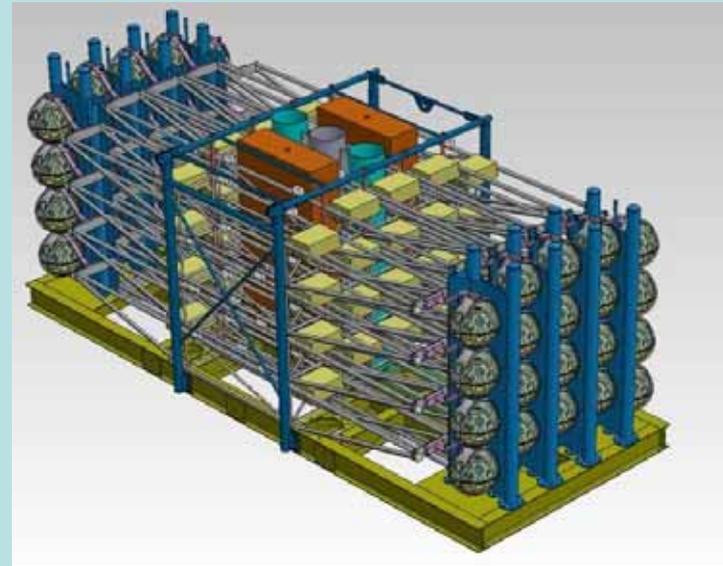
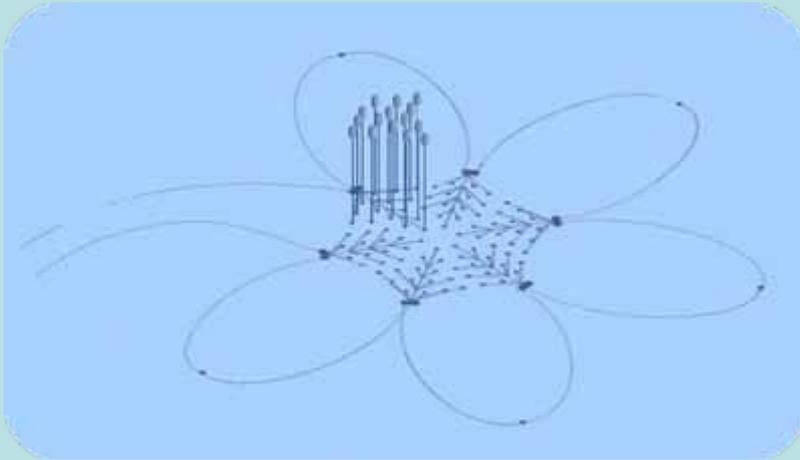
- Discriminer les sources du fond diffus (identification evt/evt).



R&D en cours

# R&D DETECTEURS SOUS-MARINS POUR ASTRONOMIE NEUTRINO (MEUST/KM3NeT)

*Modules optiques compacts  
et lignes auto-déployables* →



*Infrastructure sous-marine modulaire et extensible*

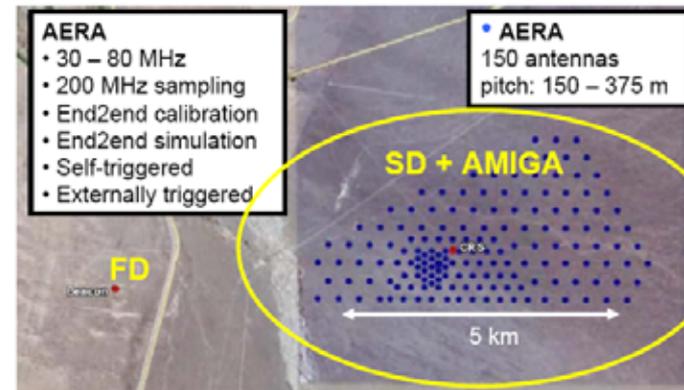
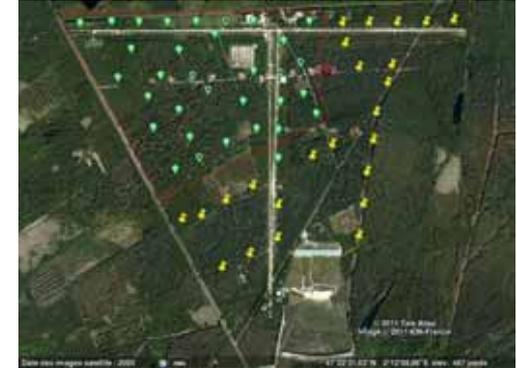
# R&D radio-détection

- Plusieurs voies complémentaires en cours :
  - MHz/GHz ,
  - Géosynchrotron /Bremsstrahlung moléculaire/Cherenkov... ,
  - Échantillonneurs/Imageurs,
  - Réseau autonome/Récepteurs asservis à un SD-particules.
- Les projets en cours :
  - Les précurseurs : CODALEMA (à Nançay) et LOPES (Karlsruhe) et les démonstrateurs près du seuil : CODALEMA-3, CROME.
  - Les démonstrateurs à grande échelle et UHE sur le site d'Auger: AERA, EASIER, MIDAS, AMBER.
  - Des mesures en faisceau : MAYBE (Argonne) AMY (Frascati)
- Beaucoup de progrès récents, mais dans ce domaine, rien n'est trivial...

# AERA , CODALEMA

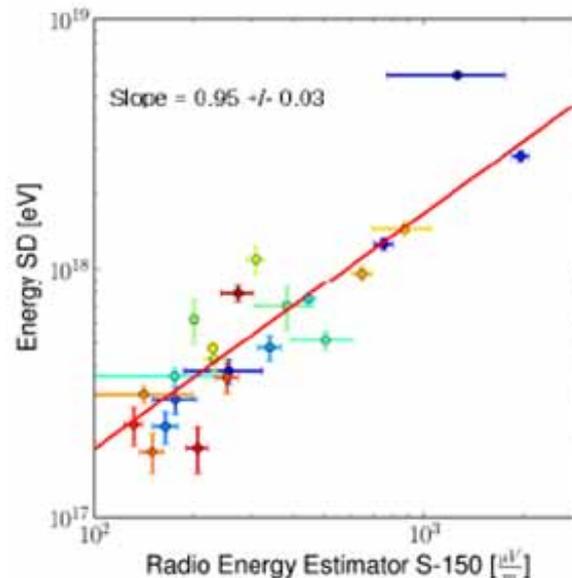
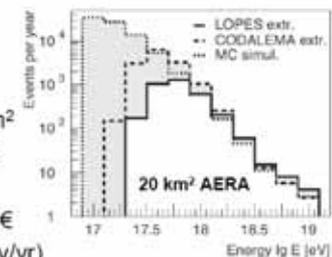
- Buts : réaliser un réseau autonome et/ou un réseau intégré en mode hybride, extrapolables à grande échelle.
- Réseaux d'antennes autonomes, gamme 30-80MHz, surtout sensible à l'émission géosynchrotron.
- Les grands succès : caractérisation des mécanismes d'émission et analyse détaillée du signal, mesure de l'énergie (~30%) de la direction (qq degrés), auto déclenchement réussi.
- Mais aussi des difficultés:
  - Intrinsèques au géosynchrotron
  - Liées à l'environnement EM et l'auto-déclenchement

## CODALEMA à Nancay (24+60 antennes)



## Next steps

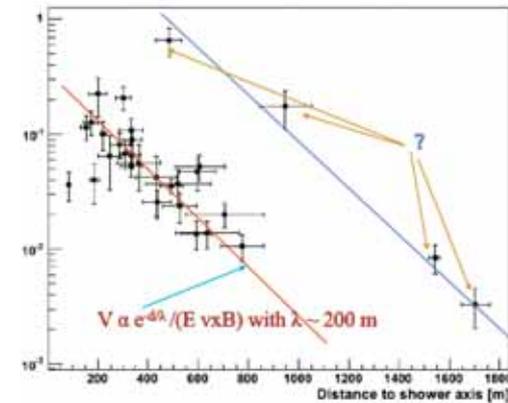
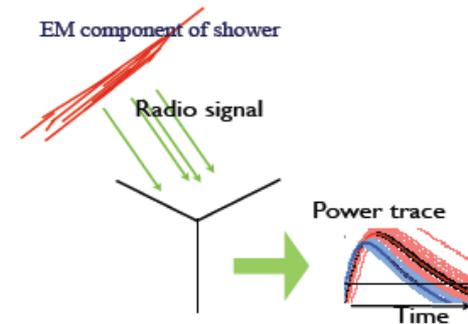
- **2012 – 2013**
  - Determine sensitivity to composition: AERA 20 km<sup>2</sup>
  - $17.3 < {}^{10}\log(E/eV) < 18.5$
- **2014 – 2018**
  - Increase to 300 km<sup>2</sup>; 5 M€
  - ${}^{10}\log(E/eV) > 19.0$  (100 ev/yr)
  - pitch ~ 1000 m
  - GZK regime; air-shower physics



# EASIER et GHz

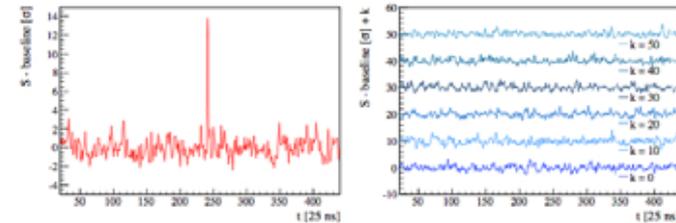
EASIER : Echantillonner le signal radio et donc la composant EM, au pas du réseau et en mode asservit par le SD (trigger, FE, DAQ et reconstruction).

- Deux voies explorées en parallèle : bande MHz (40-80) et bande GHz (3.4-4.2).
- 1 hexagone MHz (7 cuves) et 1 hexagone GHz équipés fin 2010
- Au GHz, on compte sur le rayonnement du plasma Molecular Bremsstrahlung (MBR) : émission isotrope  $4\pi$
- Etroite collaboration avec les autres projets GHz à Auger et mesures en faisceau (MI DAS, AMBER, CROME, MAYBE, AMY).



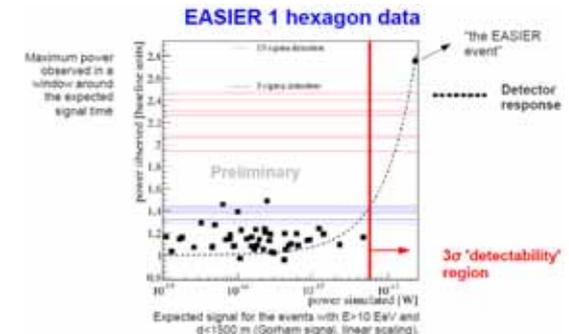
## Premiers résultats

- Premiers résultats encourageant au MHz
- Première mondiale de détection au GHz
- Installation de 61 récepteurs GHz en avril 2012 (100km<sup>2</sup>).



## Difficultés :

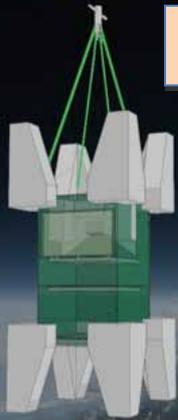
- Intrinsèques au géosynchrotron dans la bande MHz (portée, anisotropie)
- GHz émission MBR incertaines et premiers résultats en faisceau le donnant faible.



## EUSO-Balloon

EUSO-BALLOON : démonstrateur pour JEM-EUSO

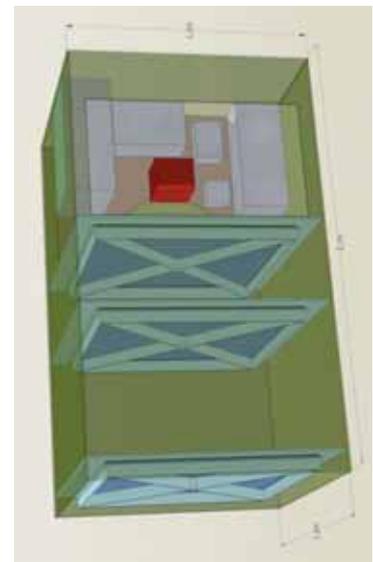
APPROVED



Precursor flight:

- Test and demo of all subsystems in space-like conditions
- Precise measurement of background
- First CR showers seen from above

**CNES mission, led by France,**  
with participation of all JEM-EUSO.



CNES mission, led by France, with participation of all JEM-EUSO.  
**Delivery: 2013 → Flights: 2014 (or 2013?)**  
**CNES cost: 500 k€ + balloon** (+ covered by the collaboration: ~500 k€)

Fresnel optics (3 lenses )  
1 of the 137 photodetection  
modules (PDM) of JEM-EUSO  
Identical electronics & trigger

## T.A.-EUSO

Partnership with the Telescope Array experiment (in Utah)

APPROVED



- 1 full PDM (photo-detection module) of JEM-EUSO (out of 137) with 2 lenses
- In situ tests with Electron Beam and Laser co-observed with TA Fluorescence Detector

Led by the Japanese/US teams of TA and JEM-EUSO  
Approved and funded by both collaborations  
Delivery and operation on site: 2012 - 2013

# Les R&D réseaux au sol

- Améliorations des SD et FD existants :

Mieux séparer les composante EM et  $\mu$ , mieux compter les muons  
 $\Rightarrow$  nouvelles observables pour composition et physique hadronique,  
 par exemple : Muon Production Depth et  $S_{\mu}/S_{em}$ .

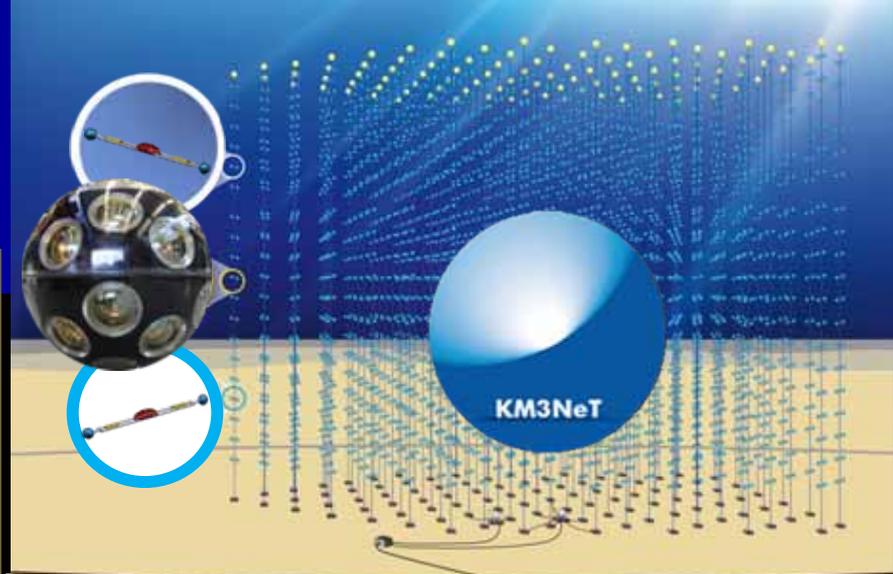
R&D  
  
 en cours

- Cuves avec diffuseur réduit  $\rightarrow N_{\mu}$
- FADC plus rapide.
- Nouveaux trigger plus efficaces
- Détecteurs de muons enterrés, RPC etc...
- Scintillateurs pour la composante EM + cuves à la Auger pour les muons.
- Détecteurs de fluorescence plus simples (1 seul pixel) + géométrie par le détecteur de surface.
- Détecteurs Tcherenkov de plus grande surface mais plus espacés.
- Cuves à deux niveaux pour séparer composantes EM et  $\mu$ .
- ...

Les projets futurs

# KM3NeT

**Configuration envisagée :**  
**320 lignes de 800 m de haut**  
**40 multi-PM OM / ligne**  
**Distribution multi-sites**  
**Sensibilité ~50 x ANTARES,**  
**optimisée pour**  
**les sources galactiques**



- **FP6-DS : CDR en 2008 et TDR en 2011**
- **FP7-PP : en cours de finalisation.**
- **MOU de Collaboration en négociation**
- **Labos français intéressés :**  
**APC / CPPM / GRPHE / IPHC / LPC**
- **Phase I de KM3NeT:**  
**40 M€(dominés par fonds régionaux,**  
**dont 8 M€de convention CNRS-FEDER**  
**en France) disponibles en Europe pour**  
**l'engineering et la construction de**  
**~40 lignes. Time scale: 2011-2016**

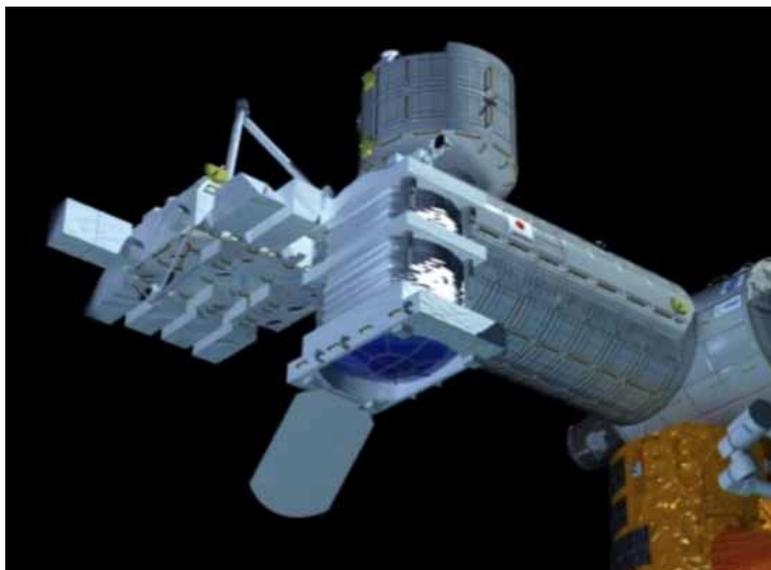


**Toulon**

□ □  
**Capo Pylos**  
**Passero**

# JEM-EUSO

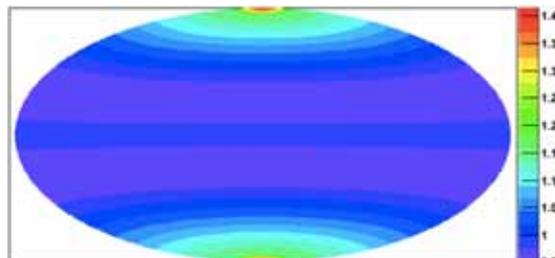
Extreme Universe Space Observatory  
(onboard the JEM module of the ISS)



## International collaboration:

13 countries, 250 scientists

Leader: Japan (RIKEN, JAXA)



Full-sky, uniform exposure

Large aperture UV  
telescope with 315 648  
pixels (photon counting)

## French participation

CNES ; IN2P3 (APC + LAL) ; INSU (IRAP)

10 physicists + 10 engineers

- Calibration of focal surface
- Front-end electronics (ASIC)

Instantaneous aperture: 200 000 km<sup>2</sup> on the ground

Energy threshold:  $3 \cdot 10^{19}$  eV

Energy resolution: < 30%

Angular resolution: 2.5°

## Programmatics

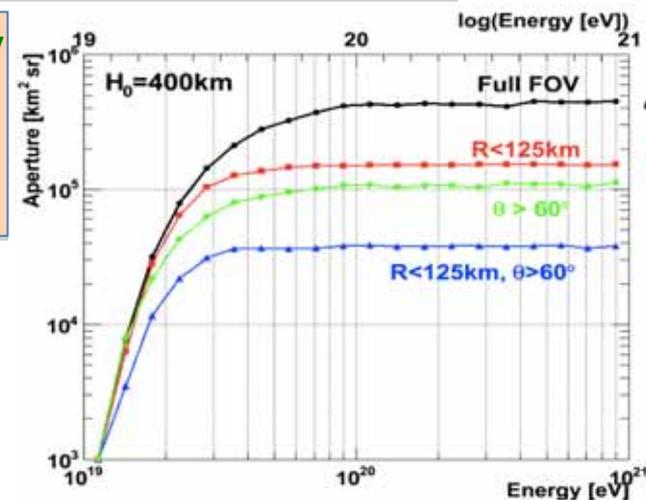
1st priority Mission of Opportunity (CNES)

Approved in ELIPS program of ESA

Phases A&B funded in all countries

Launch: 2017

Cost: France ~ 3 M€ (CNES)  
total ~100 M€



# Vers un futur réseau géant au sol

UHECR symposium au CERN, février 2012, réunissant la communauté :

- Confrontation des méthodes d'analyse et des données Auger/TA/HiRes/Yakutsk etc... pas de contradictions majeures.
- Définition d'un programme et d'objectifs communs en vue d'un futur réseau géant au sol.
- AUGER et TA sites de test pour les R&D.
- Voie spatiale et au sol complémentaires.

Objectifs :

- Acceptance x10 Auger : 30.000 km<sup>2</sup>
- Mesure précise des composantes EM et muoniques des gerbes et de leur développement aux plus hautes énergies événement par événement.
- Plusieurs pistes à explorer : compteurs de muons, détection radio de l'émission géosynchrotron, détection au sol de la composante EM (scintillateurs), "fluorescence" radio au GHz par imagerie ou échantillonnage au sol.

Calendrier :

- Working groups déjà formés sur la définition des objectifs scientifiques et de l'évaluation des dispositifs proposés.
- Structuration en consortium à moyenne échéance.
- R&D < 2016
- Prise de données : 2018-2040

# Conclusions

## Etat des lieux :

- Sur 12 ordres de grandeurs en énergie et 32 en flux. On dépasse l'image simple et on commence à être sensible aux structures fines: propagation, E de coupure, environnement galactique proche, transition G->EG...
- Pas de sources de RCUHE clairement identifiées, -> séparer la composantes à grande rigidité.
- Pas de sources  $\nu$  non plus -> plusieurs km<sup>3</sup>
- Pas de signaux de physique exotique, mais peut-être des indices de transition à UHE.
- Rayons cosmiques galactiques en dessous du genou : une moisson qui ne fait que commencer, AMS pour 20ans, établira une référence, CREAM statistique pour se rapprocher du genou.

## Développements :

- R&D riche dans tous les domaines.
- Extension x50 de la technologie sous-marine
- Faisabilité de la détection depuis l'espace
- Exploitation de la détection radio
- Amélioration des réseaux SD et des FD

## Objectifs futurs :

- Neutrinos : astronomie neutrino, identifier les sources -> multi-km<sup>3</sup>
- RCUHE : identifier leurs sources, comprendre leur nature, explorer la physique UHE  
-> exposition x 10, mesure des gerbes plus précises et composition à UHE  
-> deux voies complémentaires : depuis le sol - depuis l'espace.

	Décennie 2010																		Décennie 2020																		Invest. M€		RH	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Irfu	IN2P3	Irfu	IN2P3																
<b>Rayons cosmiques</b>																																								
AMS 02																							.	.																
CREAM						?	?	?															.	.																
Auger							?	?	?	?	?	?	?	?	?	?							5	40																
R&D radio							?	?	?														1,8	23																
after Auger							?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			12	40																
EUSO Balloon																							0	19																
JEM EUSO			?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?										0	20																
<b>Neutrinos</b>																																								
Antares																							2,4	3	3	8														
KM3NeT (phase 1)																							8	18																
KM3NeT (phase 2)							?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?			30	18																

R&D / construction  Construction + Données   
 Construction/investissement  Science   
 Invest. Irfu/IN2P3 de 2013 à 2022 