



# Les rayons cosmiques ultra-énergétiques après Auger

## En route pour JEM-EUSO ?

Etienne Parizot, APC – Univ. Paris 7

# Les rayons cosmiques

(particules énergétiques sillonnant le cosmos)

- 1912: Hess **ne** découvre **pas** les rayons cosmiques

Mais il découvre qu'il existe des rayons cosmiques...

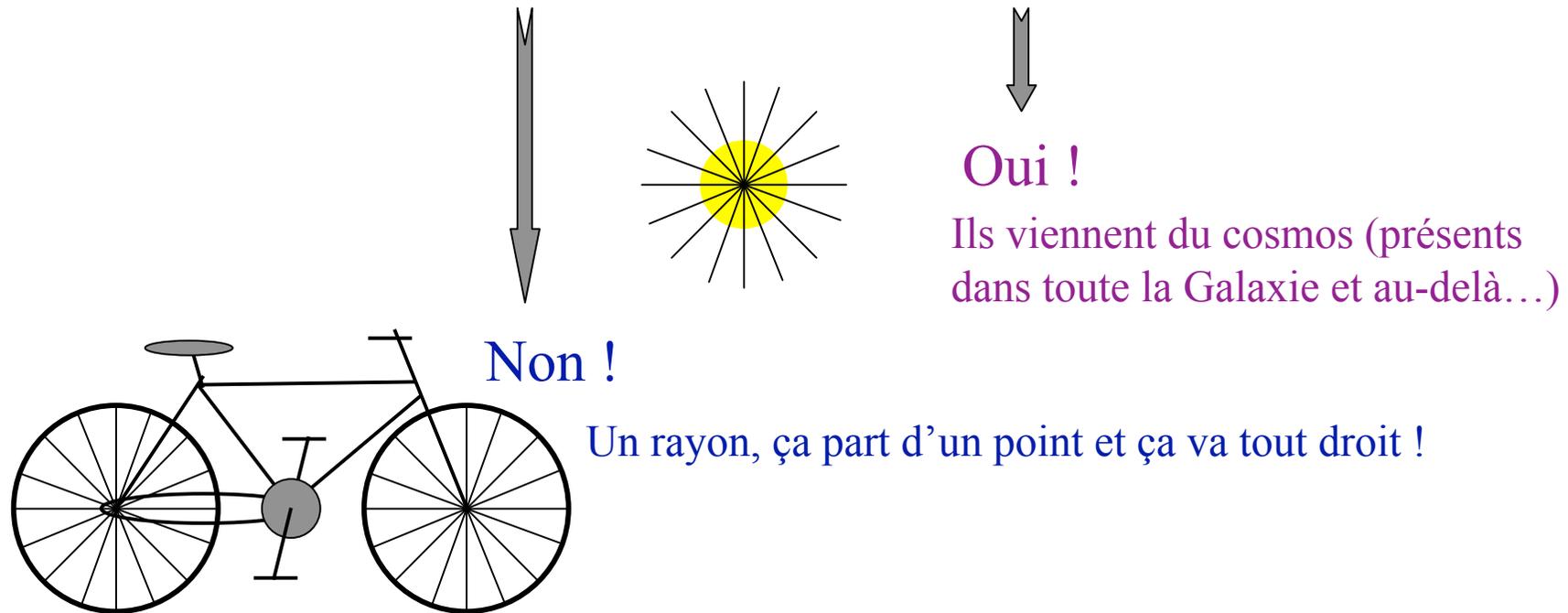


Hess bei Ballonlandung (1912).

- L'observatoire Pierre Auger, Cascade, HiRes, AGASA... ne sont pas des détecteur de rayons cosmiques

➡ Détecteurs de particules secondaires produites dans l'atmosphère par les rayons cosmiques (RC)

# « Rayons cosmiques »

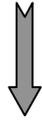


photons (lumière) = « rayons »    mais    rayons cosmiques  $\neq$  « rayons »

Grande nouveauté : qch vient du cosmos, mais ce n'est pas de la lumière !

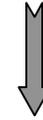
Nouvelle astronomie !     $\neq$  astronomie photonique étendue  
(radio, infrarouge, UV, X, gamma, TeV...)

# « nouvelle astronomie »



Oui !

Récolte de matière extraterrestre,  
et même extragalactique !



Non !

Pas de pointage, hélas !

Particule chargée + champ magnétique = déflexion !



## « isotropisation »

Brouillage complet  
du ciel et mélange  
de toutes les sources



Comment voir les sources ?



Comment comprendre le phénomène  
des rayons cosmiques ?

(très important !)

## Solution:

# transformer les RC en vrais « rayons »

- Étudier les particules énergétiques en observant le rayonnement induit



- Interactions diverses

⇒ production de photons cf. HESS, INTEGRAL, Fermi...

⇒ production de neutrinos cf. ANTARES, Auger, IceCube...

- NB: c'est pourquoi les RC sont si importants en astrophysique !

Toutes les sources de haute énergie nous sont connues principalement par l'effet des particules énergétiques qu'elles accélèrent !

- Autre raison: les RC interviennent dans la plupart des processus galactiques importants
- Pb: rayonnements induits détectables seulement à basse énergie (à haute énergie, les particules énergétiques sont trop peu nombreuses)

## Solution:

### transformer les RC en vrais « rayons »

- À très haute énergie, les déflexions des particules par les champs magnétiques sont moindres

$$r_g \approx (1 \text{ kpc}) E_{\text{EeV}} B_{\mu\text{G}}^{-1}$$

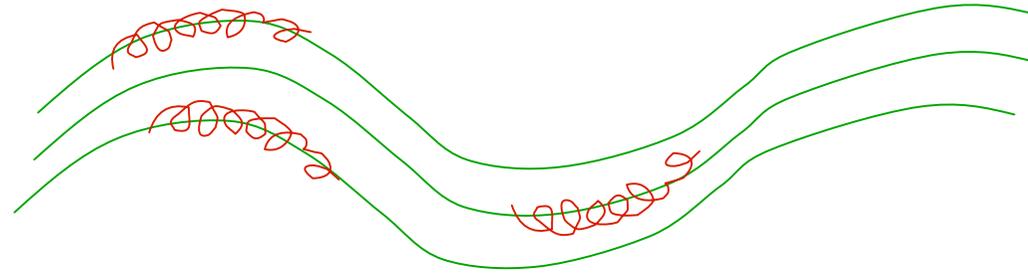


- Champs magnétiques galactiques typiques : qq microGauss
- Proton ayant une énergie  $E = 1 \text{ EeV}$  ( $10^{18} \text{ eV}$ ):  $r_g \sim \text{kpc}$ 
  - ➡ perte de confinement dans la Galaxie
  - ➡ origine extragalactique !
- Proton ayant une énergie  $E = 100 \text{ EeV}$ , dans  $1 \text{ nG}$  :  $r_g \sim 100 \text{ Mpc}$ 
  - ➡ trajectoire  $\sim$  rectiligne

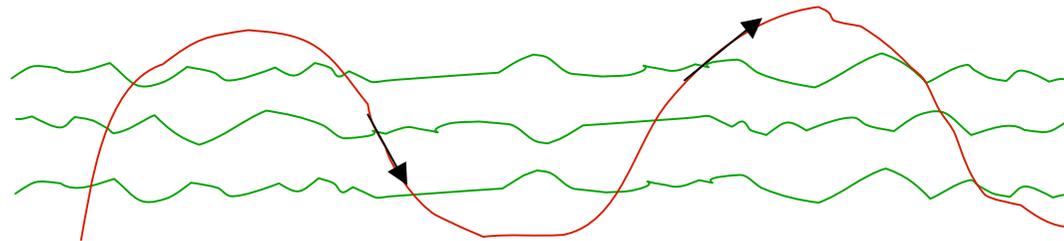
# Interaction avec les inhomogénéités magnétiques

- Lignes de champ perturbées : jusqu'à quelle échelle ?

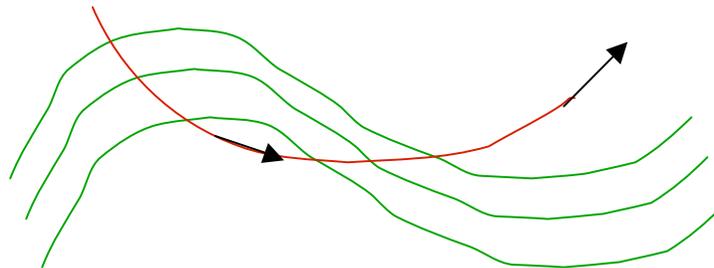
$$\frac{r_g}{\lambda} \ll 1$$



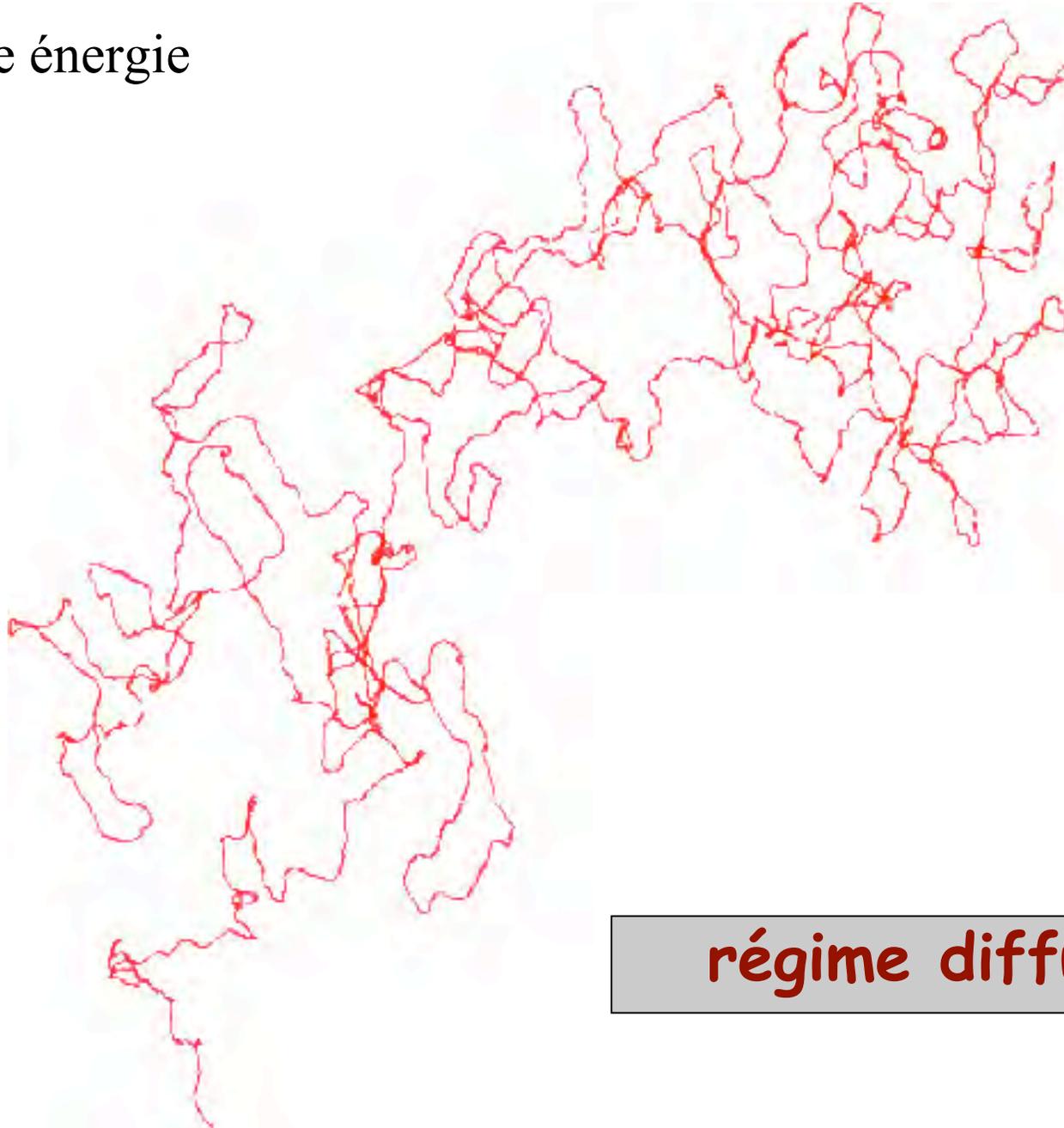
$$\frac{r_g}{\lambda} \gg 1$$



$$\frac{r_g}{\lambda} \sim 1$$



## Basse énergie

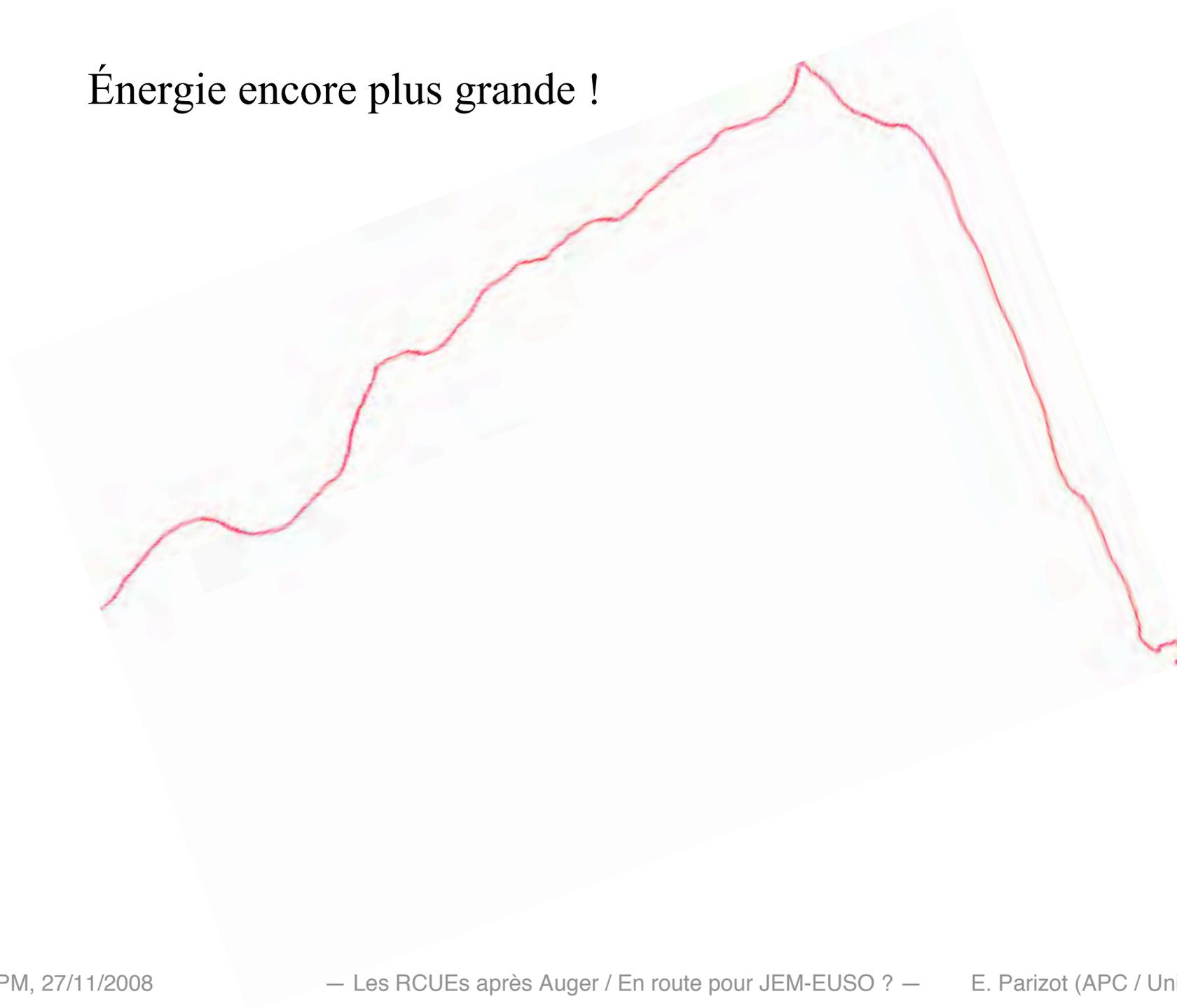


**régime diffusif**

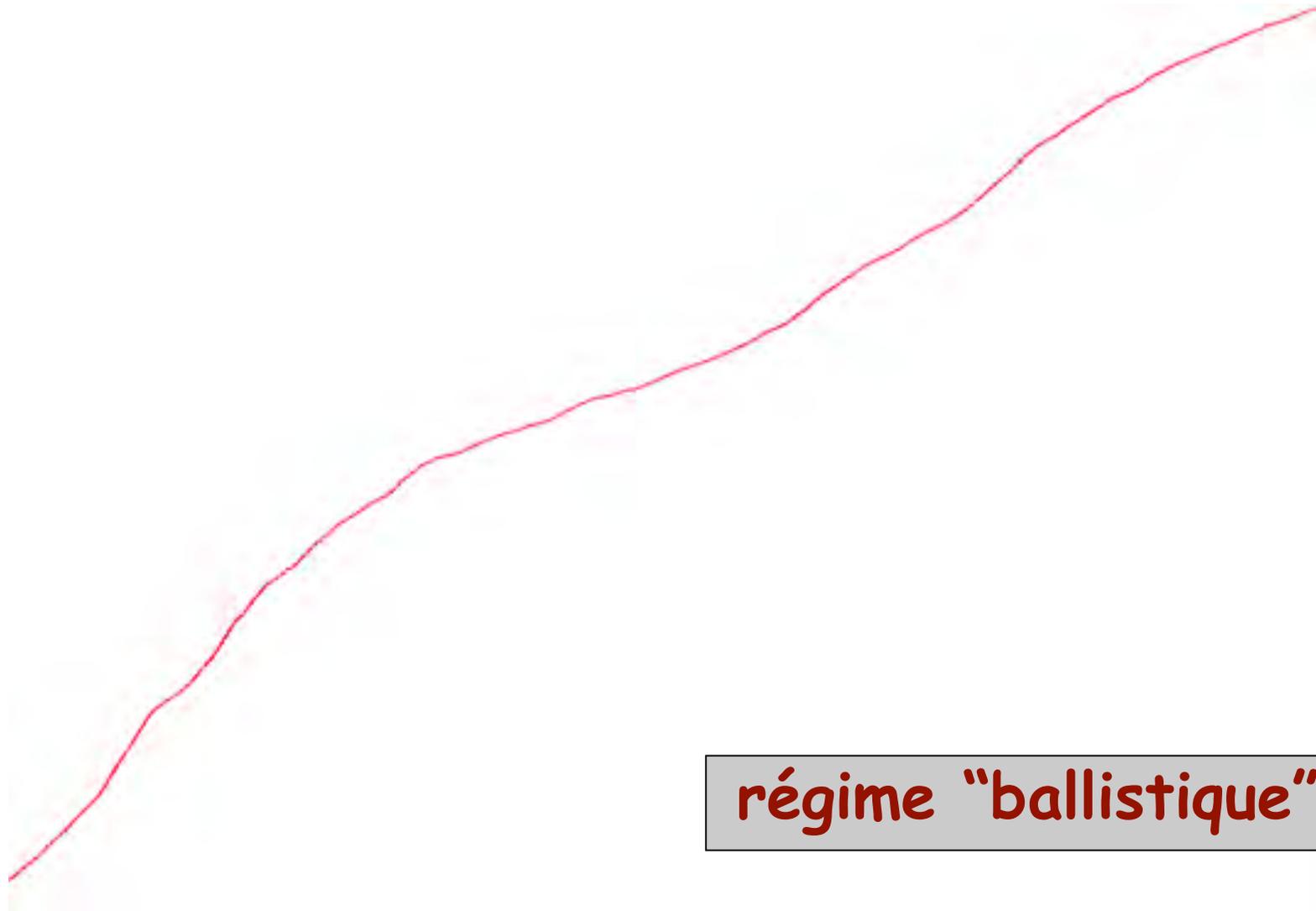
# Énergie supérieure



Énergie encore plus grande !



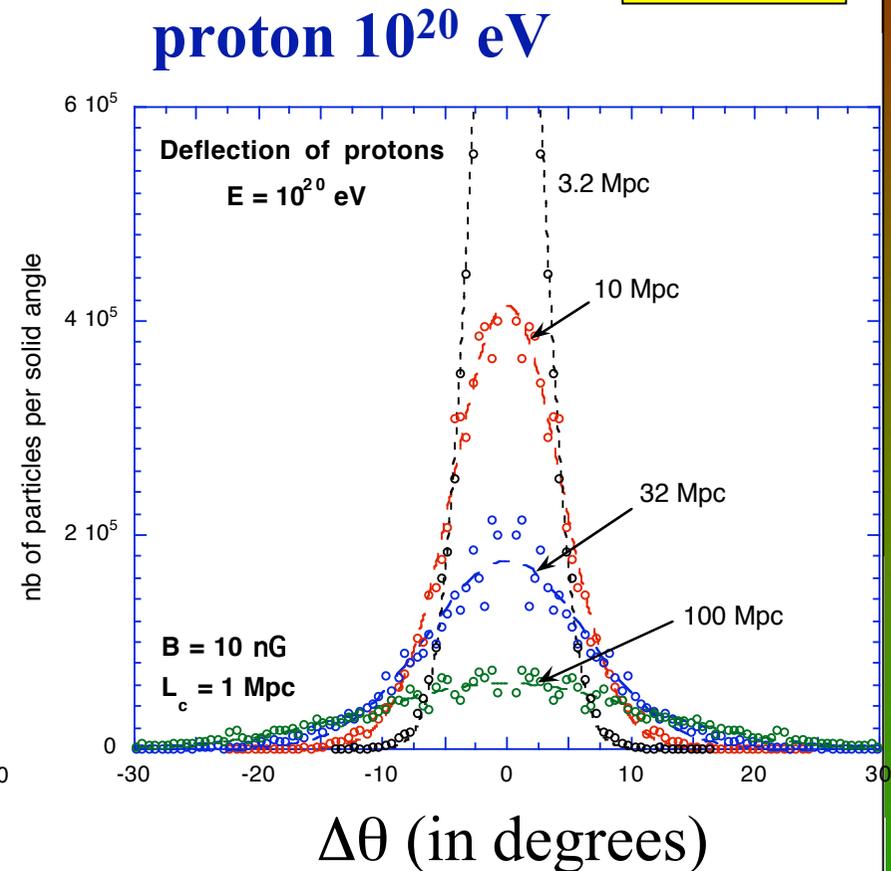
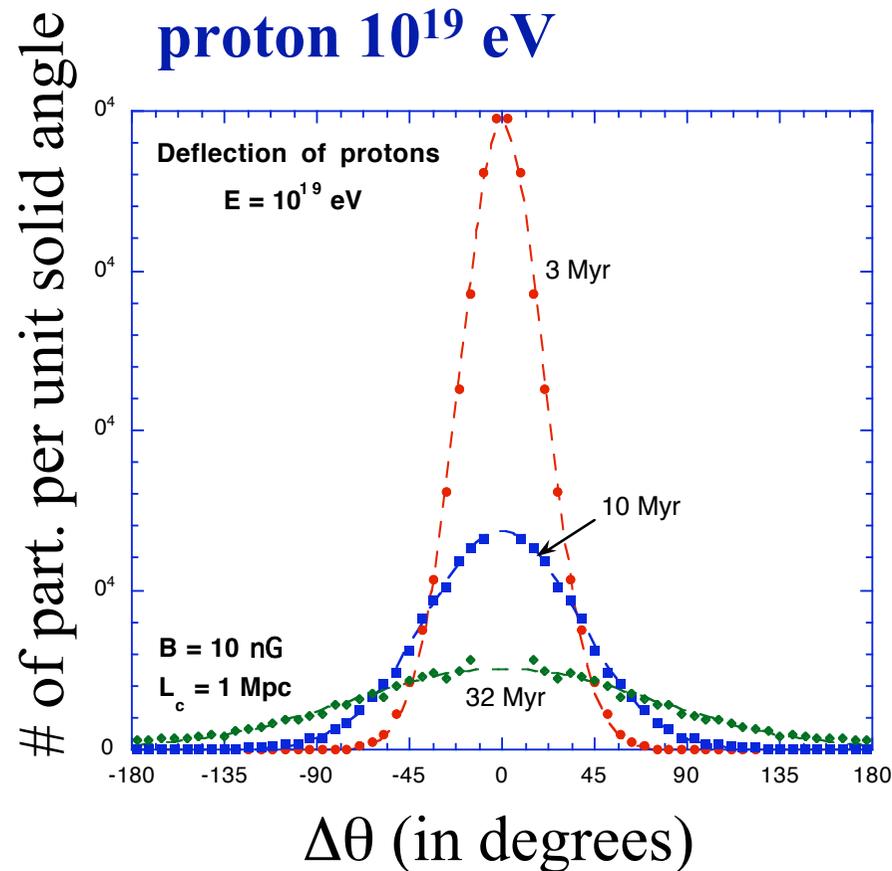
Énergie vraiment très grande... ;-)



# Régime de diffusion angulaire

(Champ purement turbulent)

$$\sigma_{\theta} \propto D^{1/2}$$

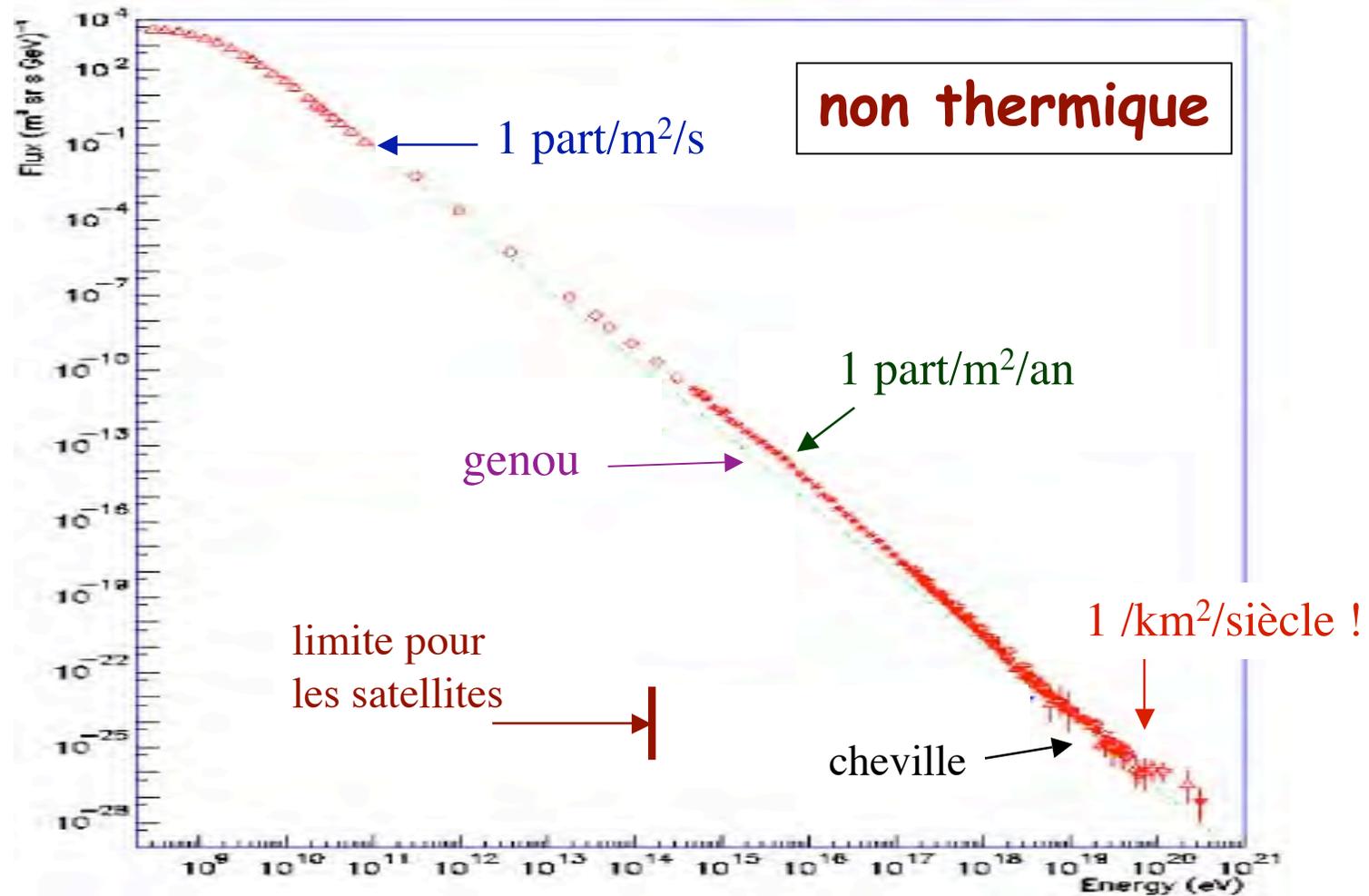


→ extension angulaire des sources + délai de propagation!

# Espoir d'une « astronomie rayons cosmiques »

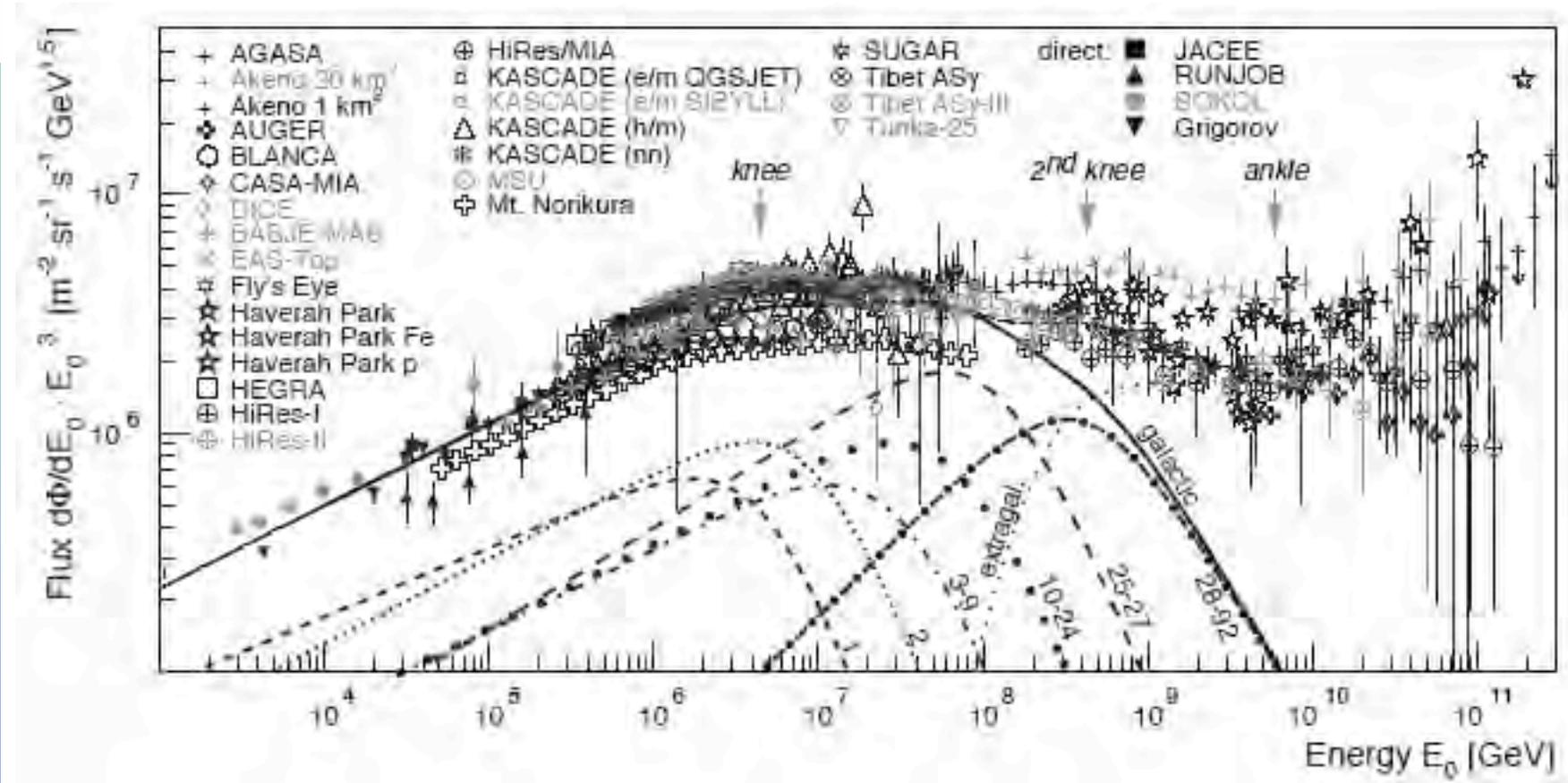
- À partir de quelle énergie les rayons cosmiques cesseront-ils d'avoir une distribution angulaire isotrope ?
- Trois conditions nécessaires
  - ➔ déflexions pas trop grandes
    - champs B pas trop élevés
    - énergies très élevées
  - ➔ sources distribuées anisotropiquement
    - nombre de sources pas trop élevé
    - sources proches dominant (univers anisotrope)
    - énergies très élevées (effet GZK, réduction de l'horizon)
  - ➔ statistique suffisante → la taille du détecteur, adaptée au flux de RCUE, doit rester réaliste...
- Problème : les rayons cosmiques ultra-énergétiques sont aussi ultra-rares
  - ➔ 1 par km<sup>2</sup> par siècle !

# Un phénomène remarquablement cohérent, mais toujours mystérieux !



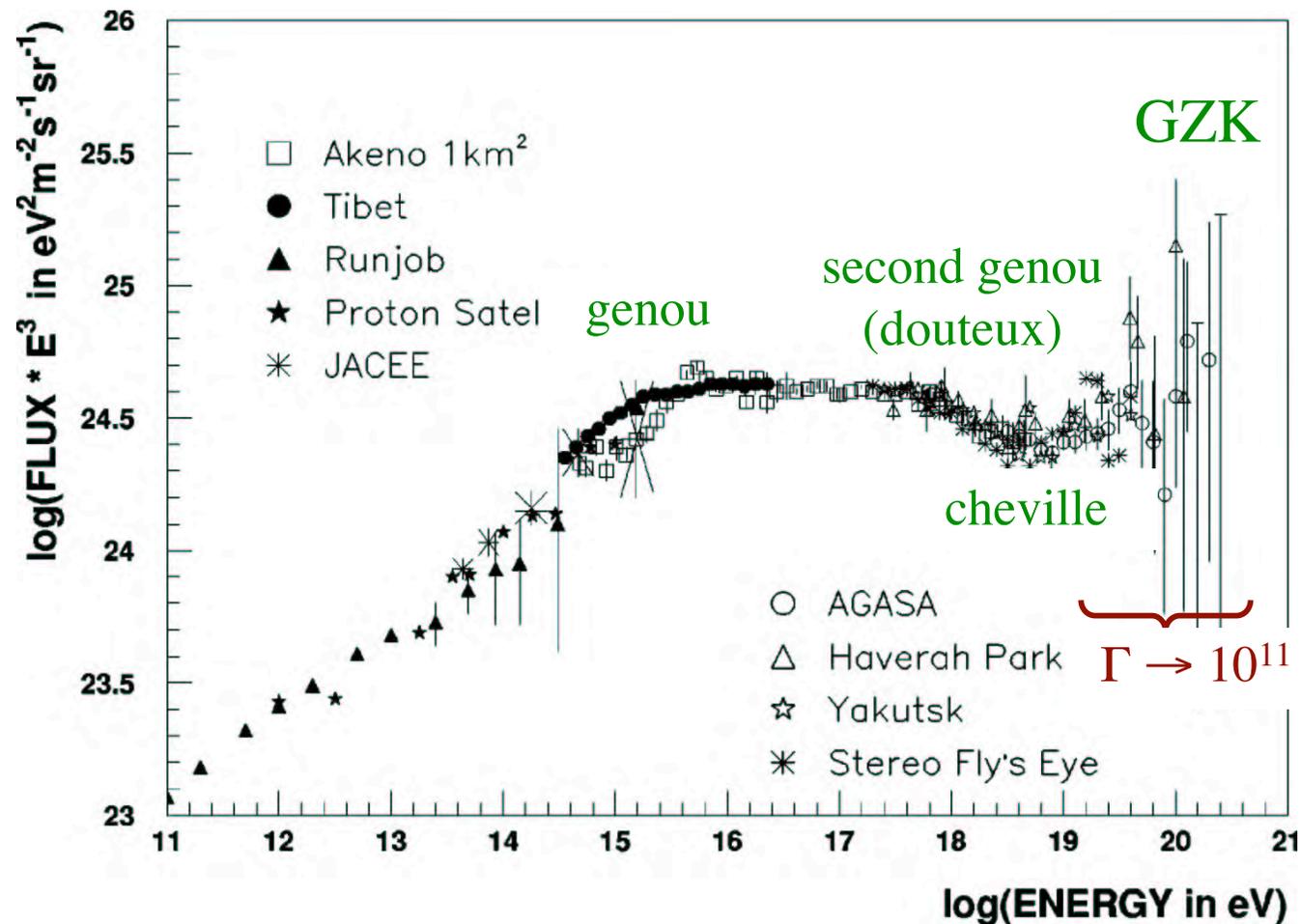
# [flux RC] $\times E^3$

- Spectre confus à haute énergie...

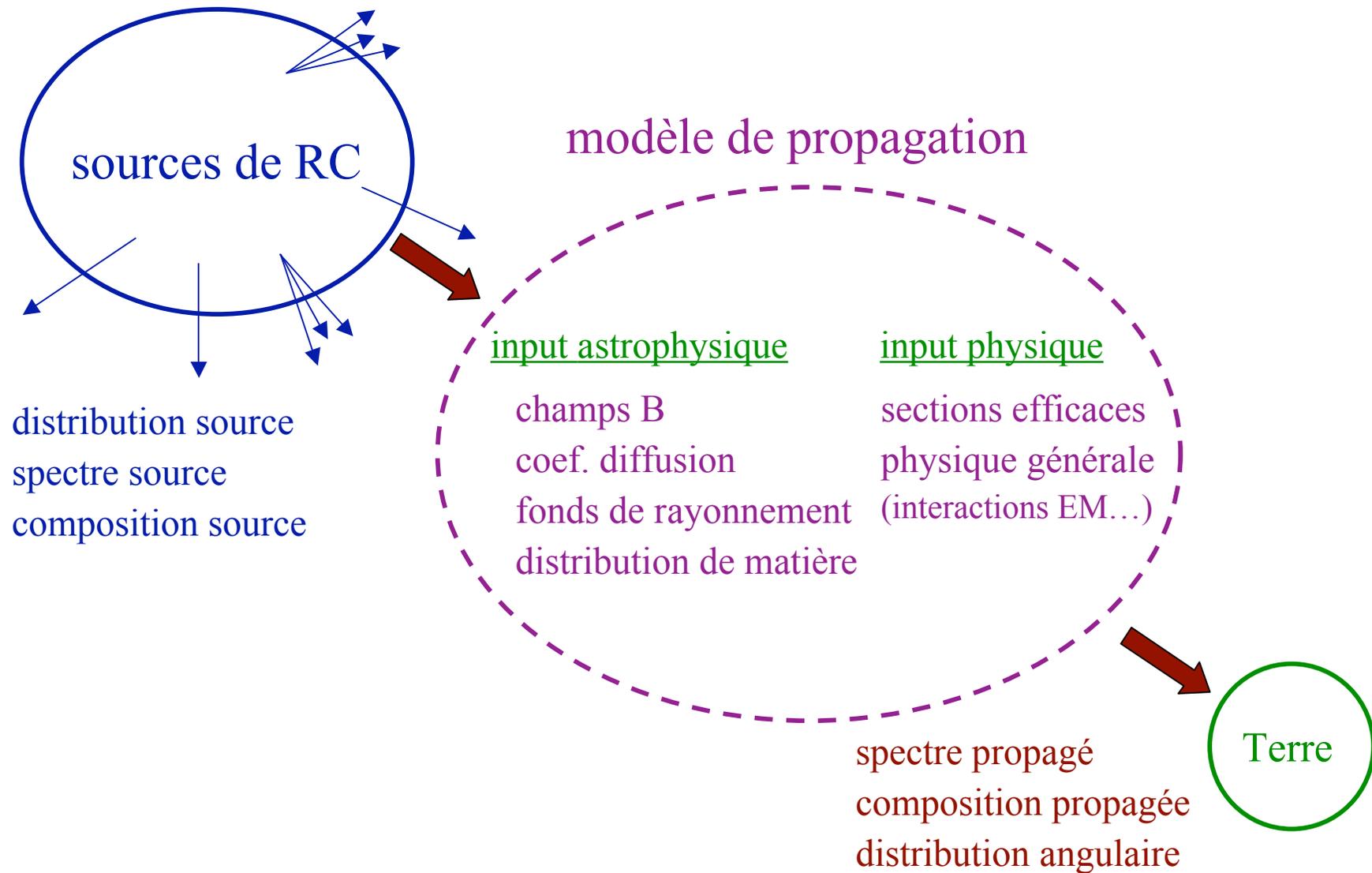


# [flux RC] $\times E^3$

- ...essentiellement à cause des incertitudes sur l'échelle d'énergie et l'acceptance des détecteurs

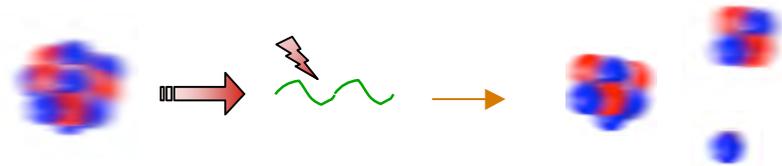


# Propagation des rayons cosmiques



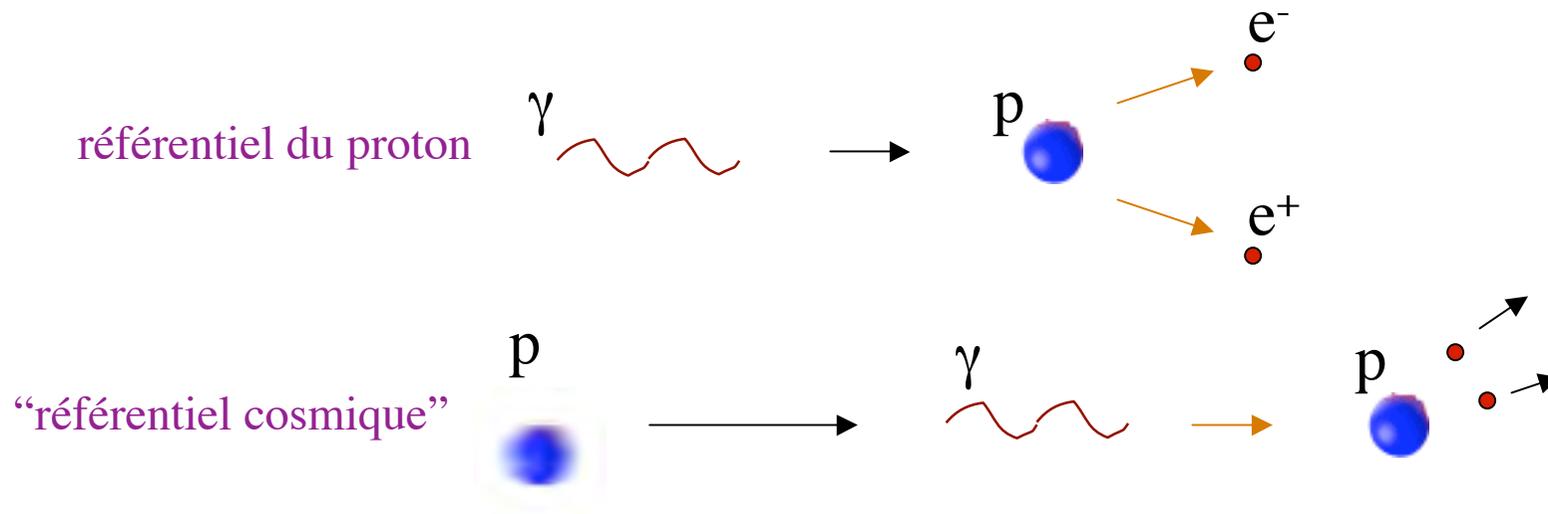
# Propagation des RC à haute énergie

- RC au-delà de  $\sim 10^{19}$  eV ont de grandes rigidités  $\rightarrow$  s'échappent facilement des galaxies
- Interagissent principalement avec le milieu extragalactique: dominé par le rayonnement !
- Protons : photo-production de paires et de pions (sur les photons du CMB)
- Noyaux plus lourds : photo-dissociation (sur les photons du CMB et les fonds IR-Visible-UV)



# L'effet GZK

- Greisen (1966) + Zatsepin & Kuz'min (1966)
- Pertes d'énergie par production de paires  $e^+/e^-$  et de pions !



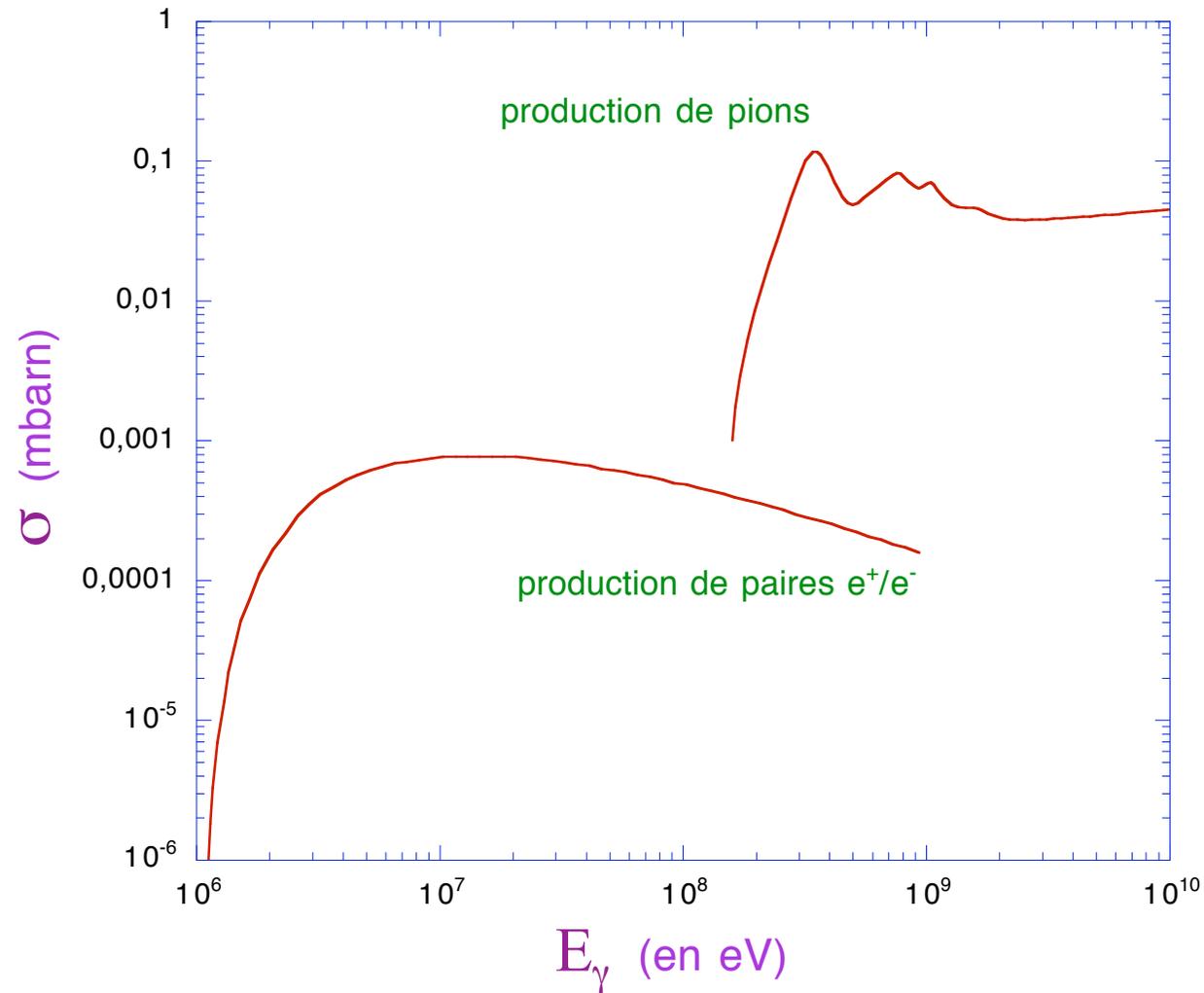
- Seuil :  $E_\gamma \approx 2 m_e c^2$  dans le référentiel du proton

$$E_\gamma > 1 \text{ MeV}$$

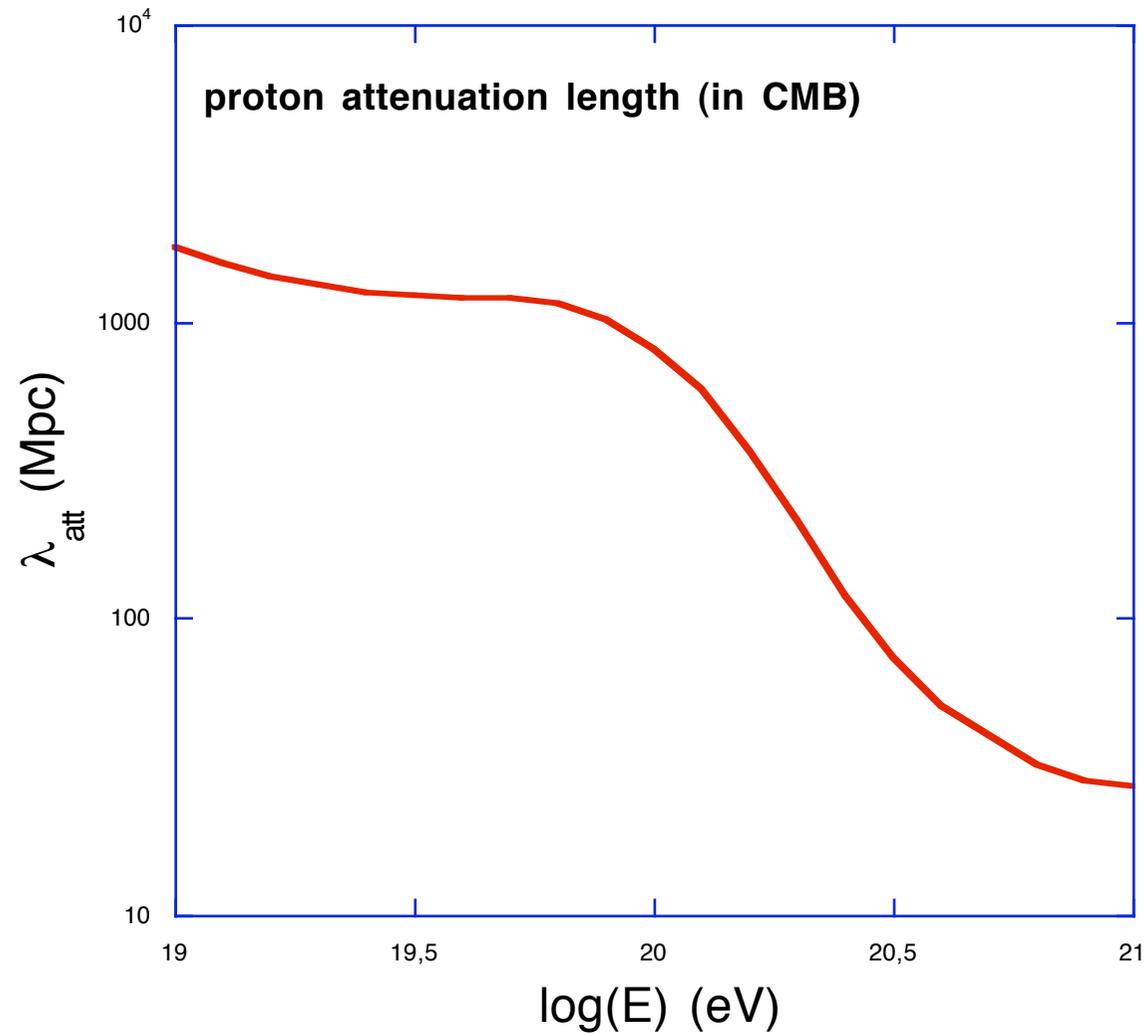
- Seuil :  $E_\gamma \approx m_\pi c^2$  dans le référentiel du proton

$$E_\gamma > 160 \text{ MeV}$$

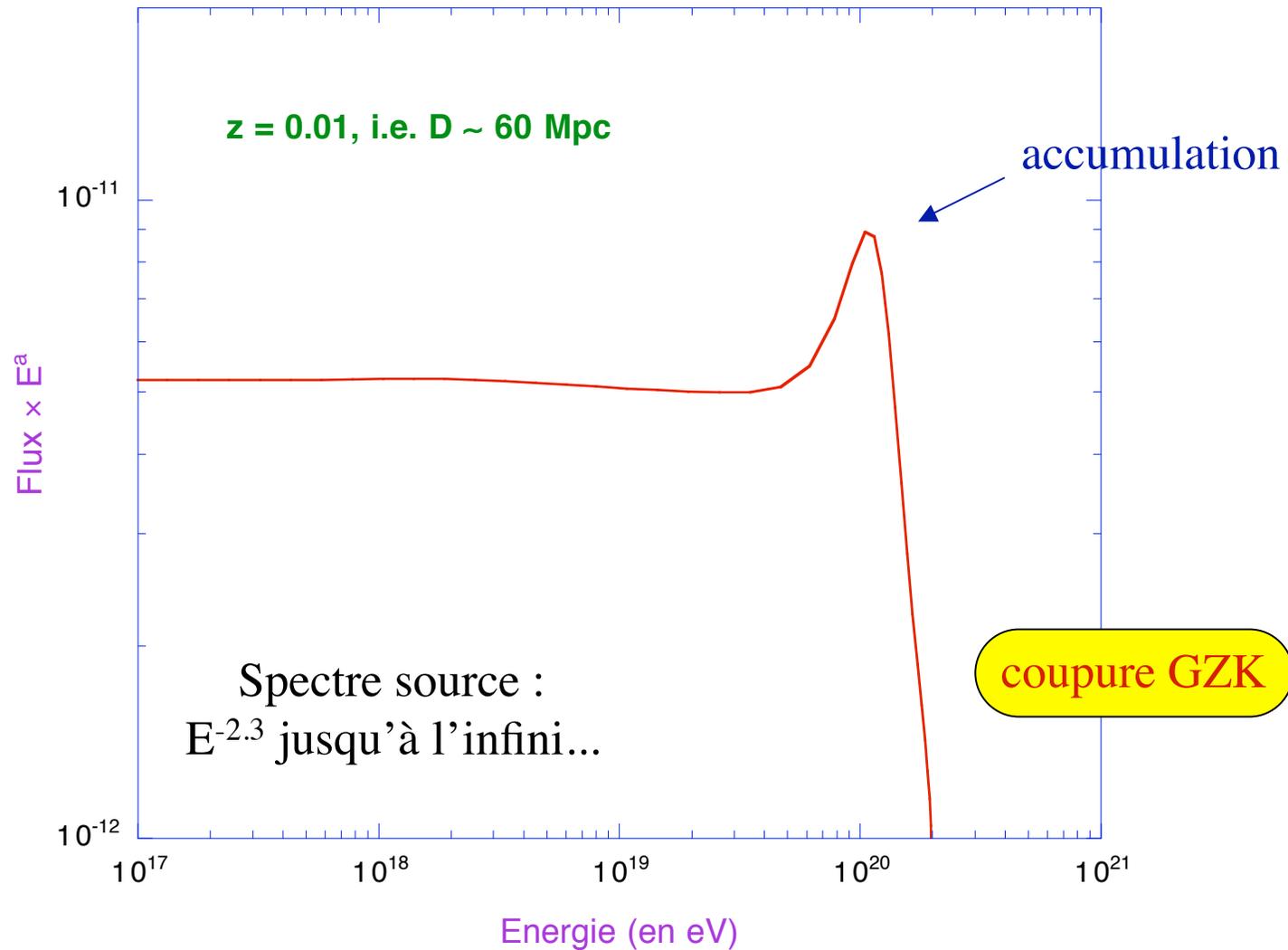
# [section efficace] x [inélasticité]

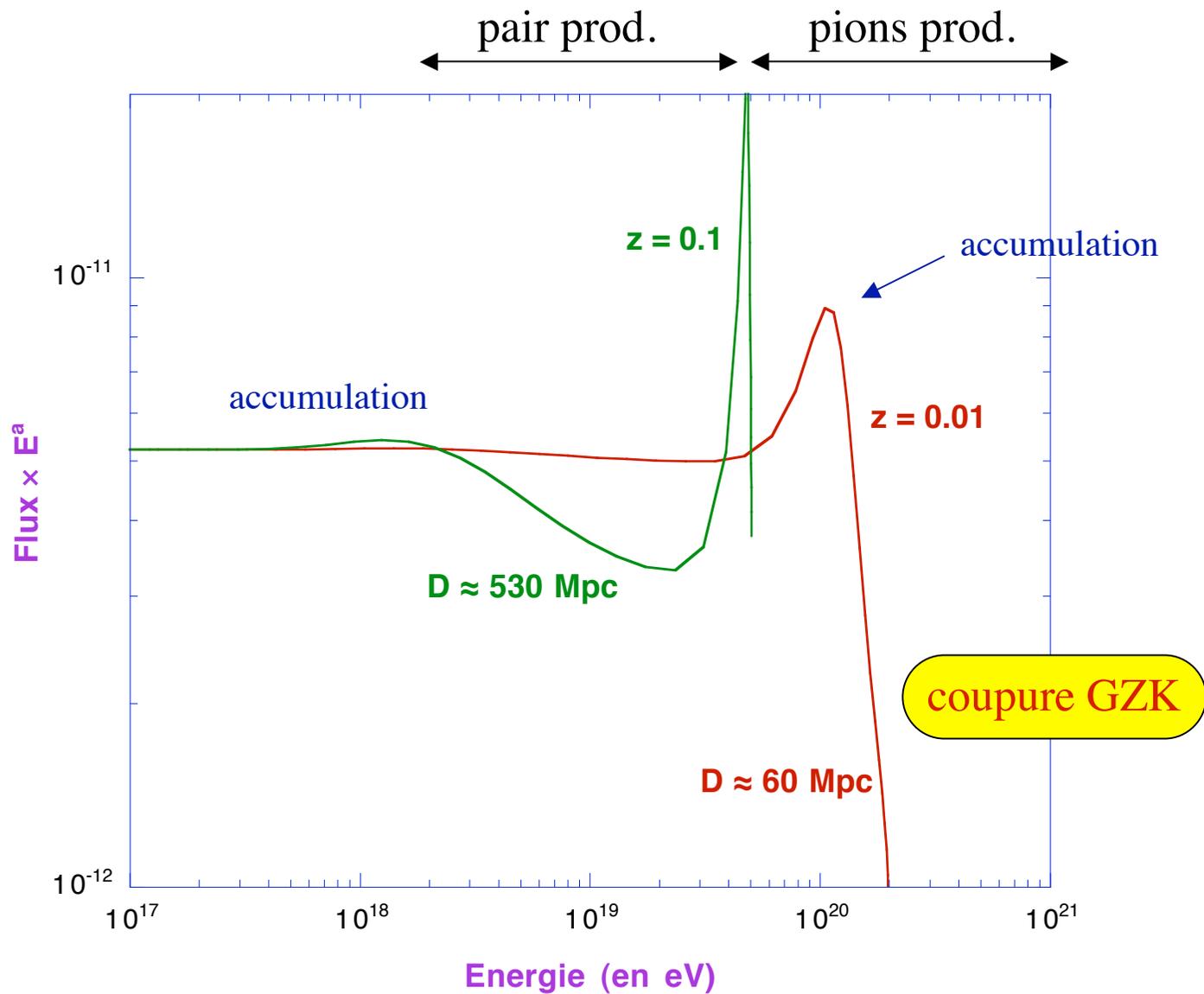


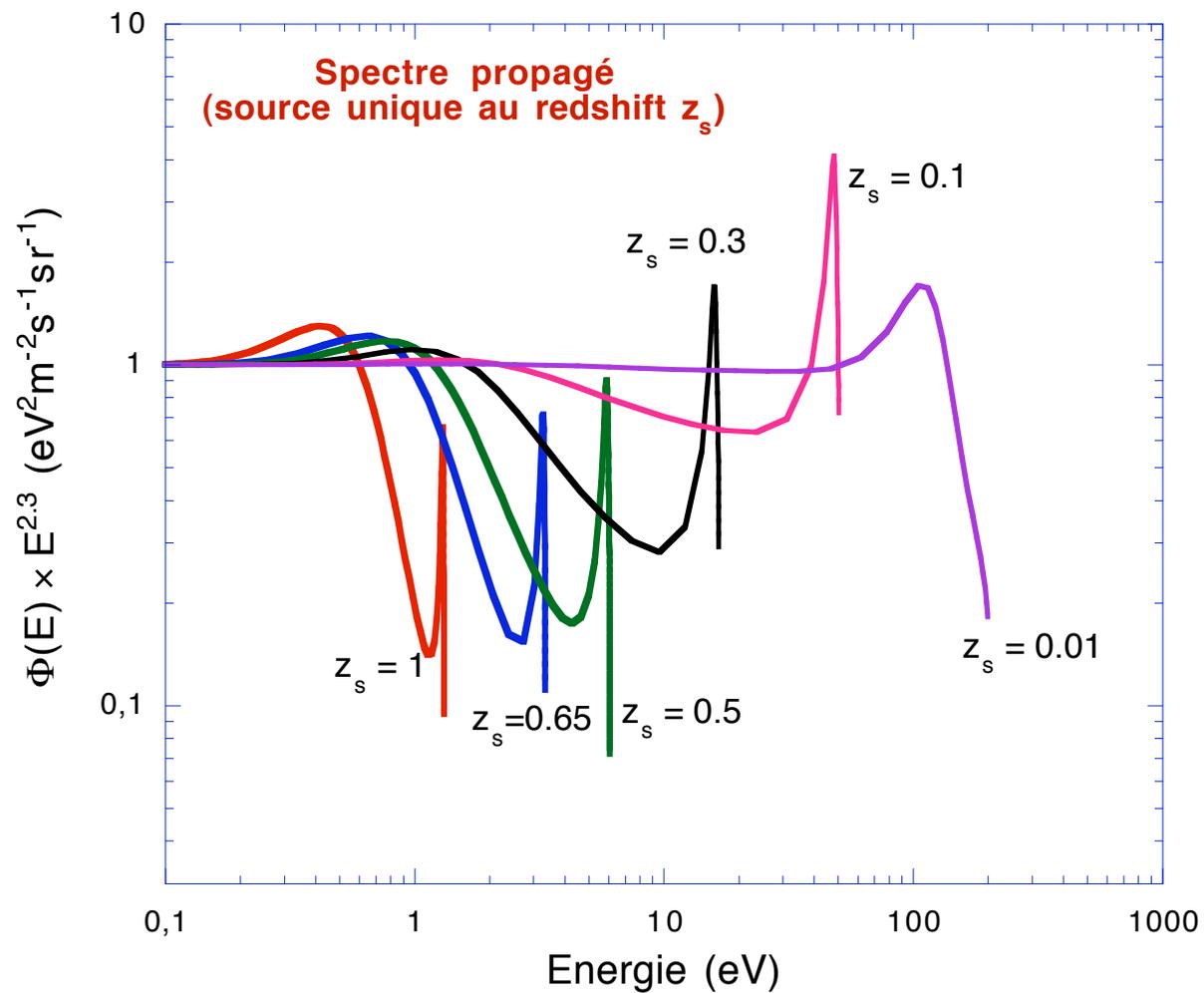
# Longueur d'atténuation - horizon



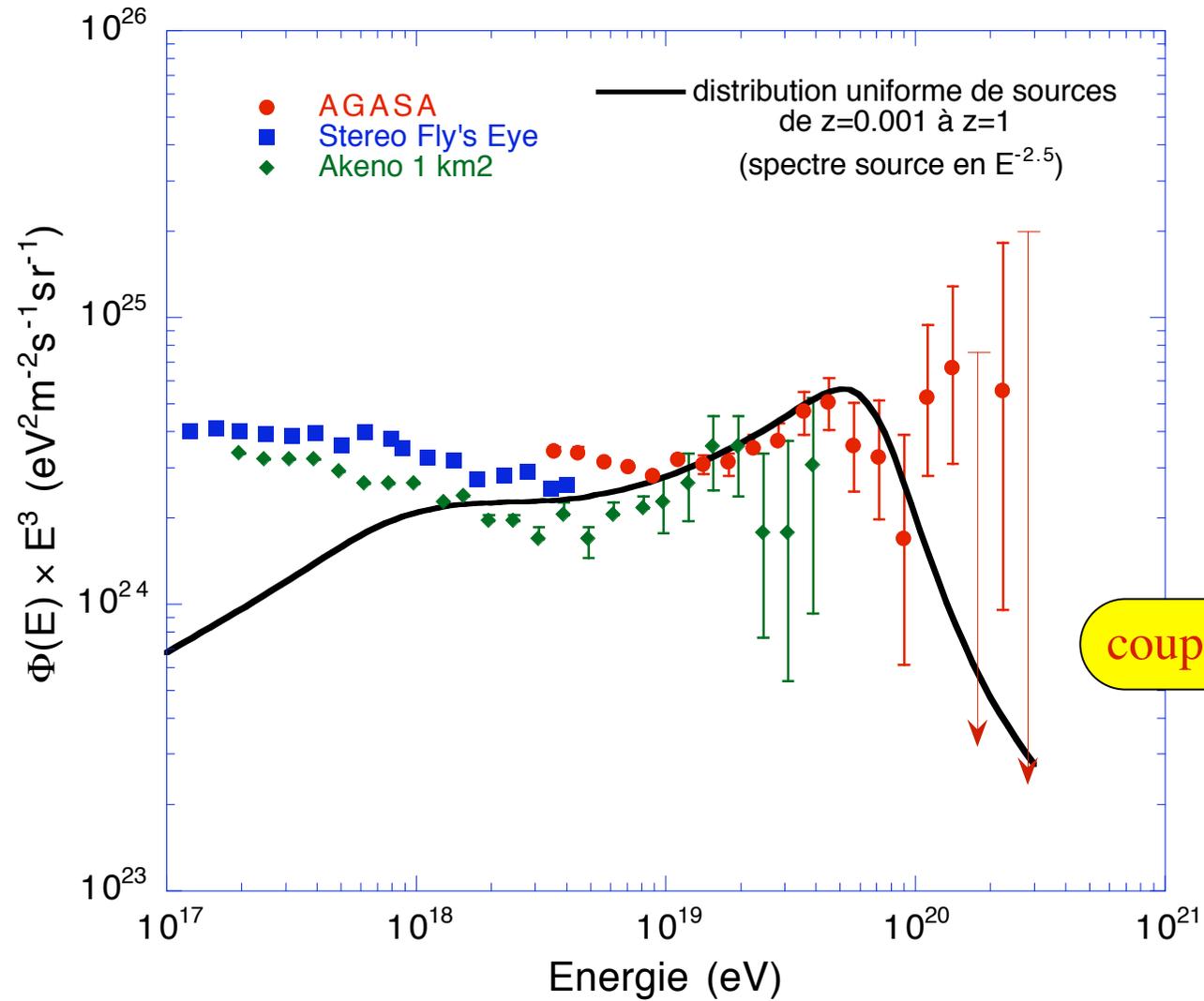
# Spectre "propagé"



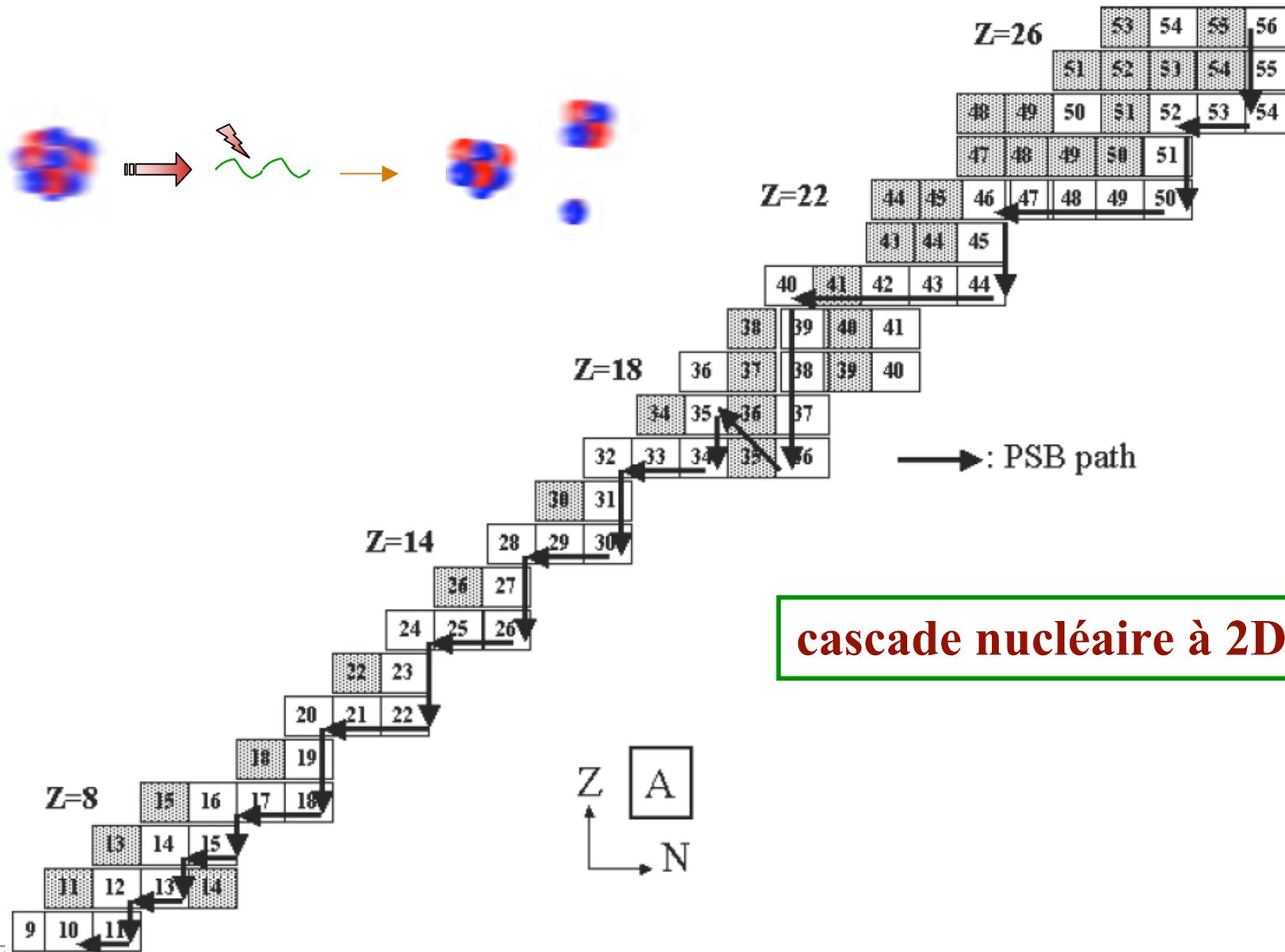




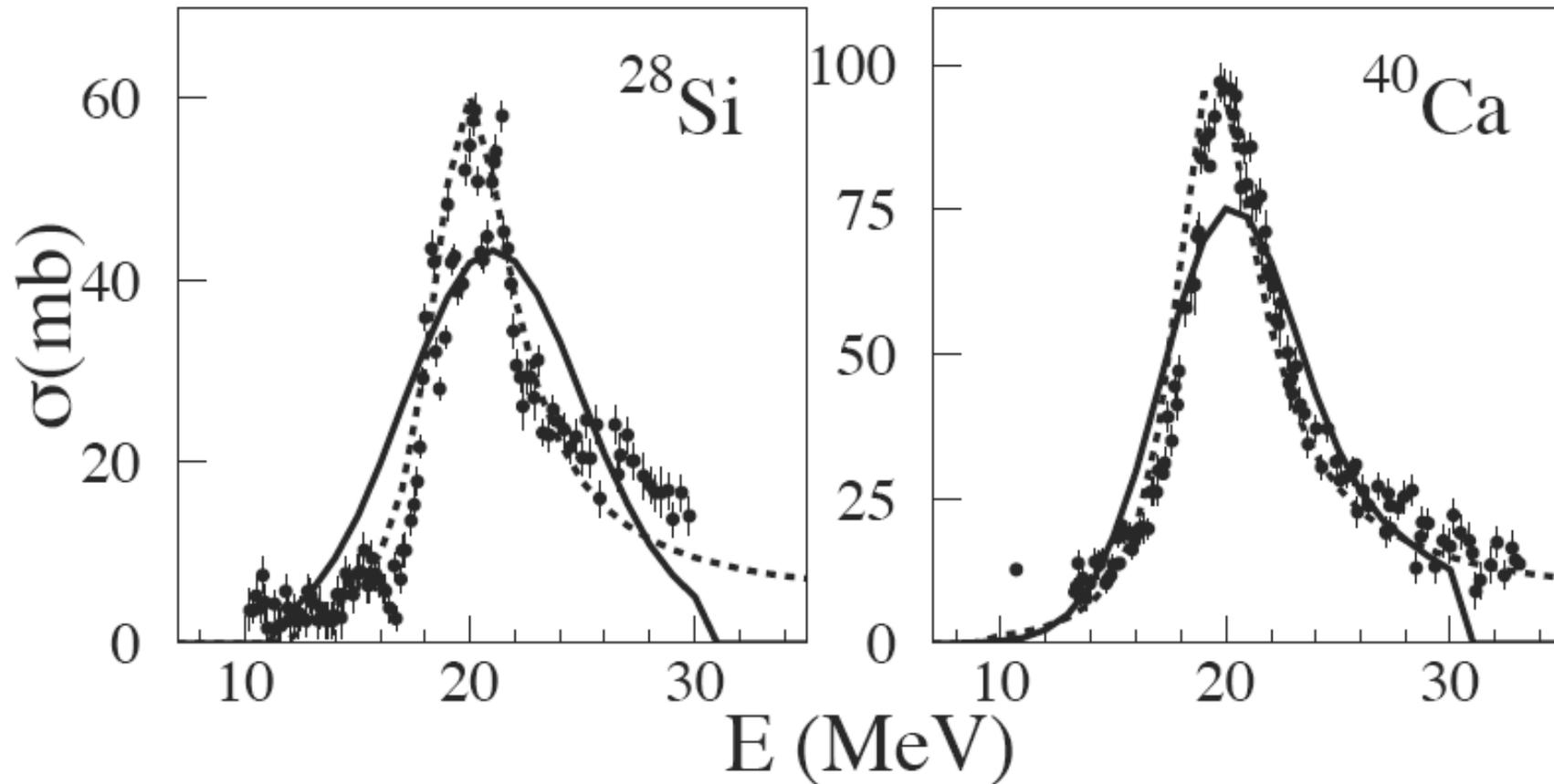
# Distribution uniforme de sources



# Propagation de noyaux UHE



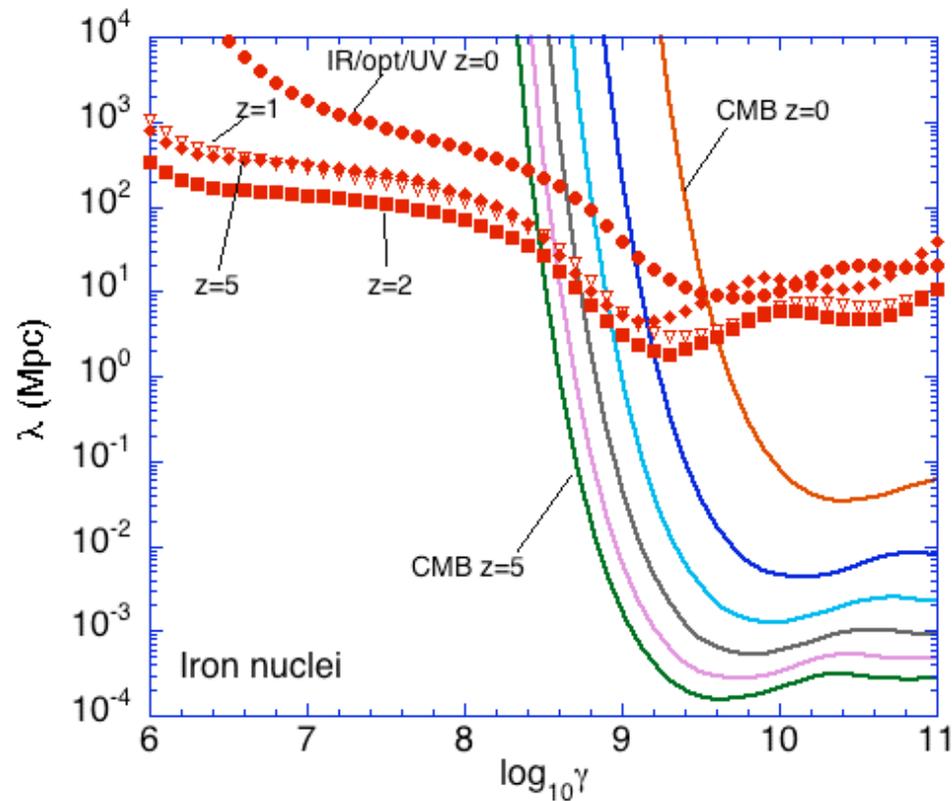
# Nouvelles sections efficaces



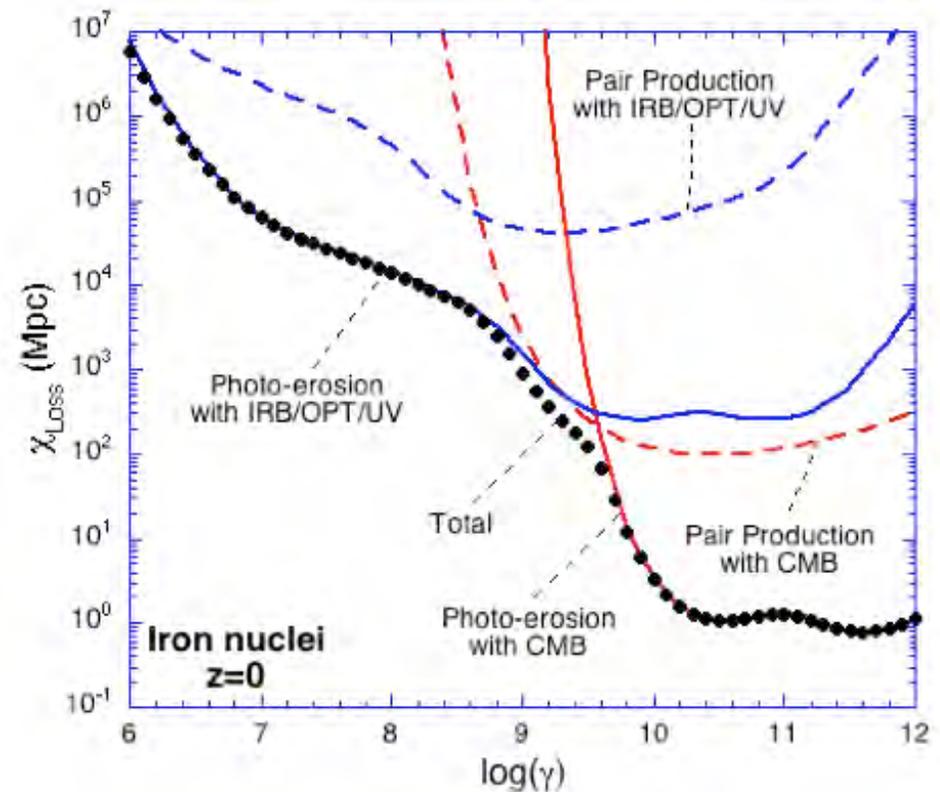
- Puget, Stecker, Bredekamp (1976)  
- - - Khan et al. (2004)

# Interaction du Fe et longueur de perte

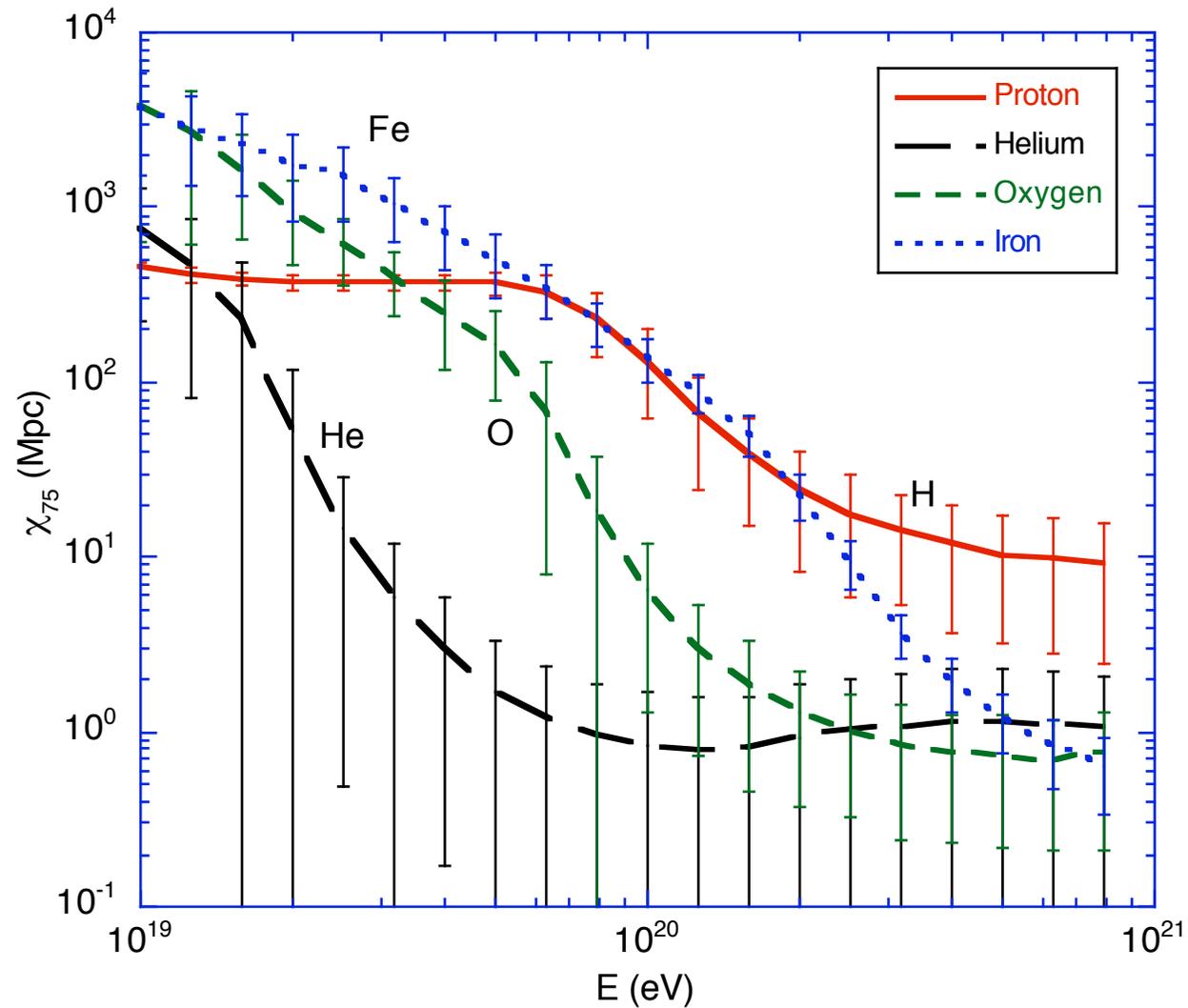
Libre parcours moyen du Fe  
(pour différents redshifts)



Longueur de perte du Fe  
(par différents processus)



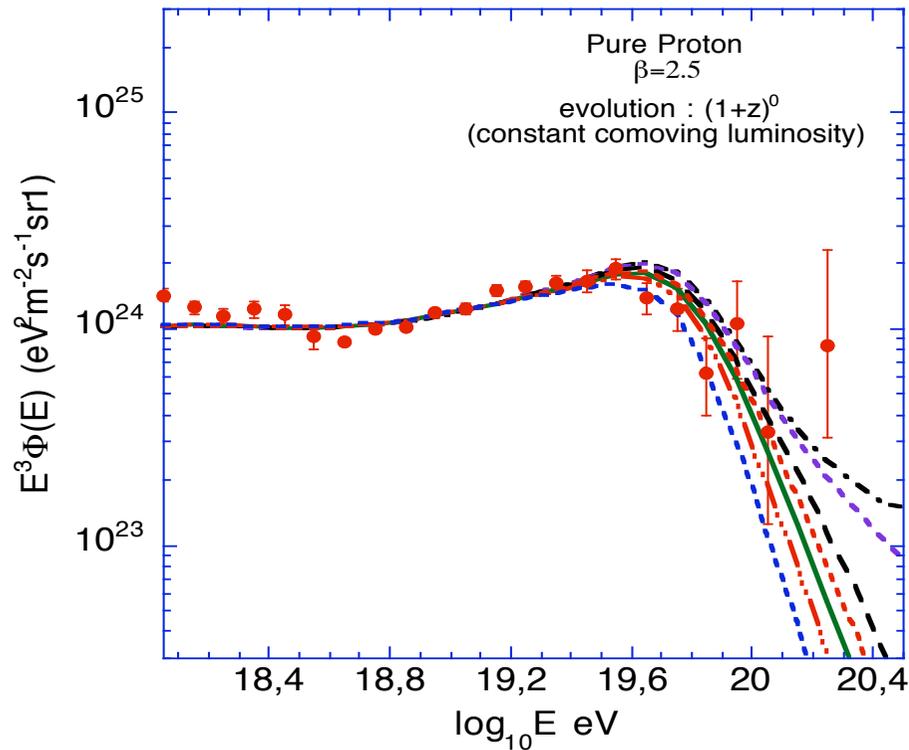
# Longueurs de pertes d'énergie



La structure de l'horizon GZK est essentiellement la même pour H et Fe

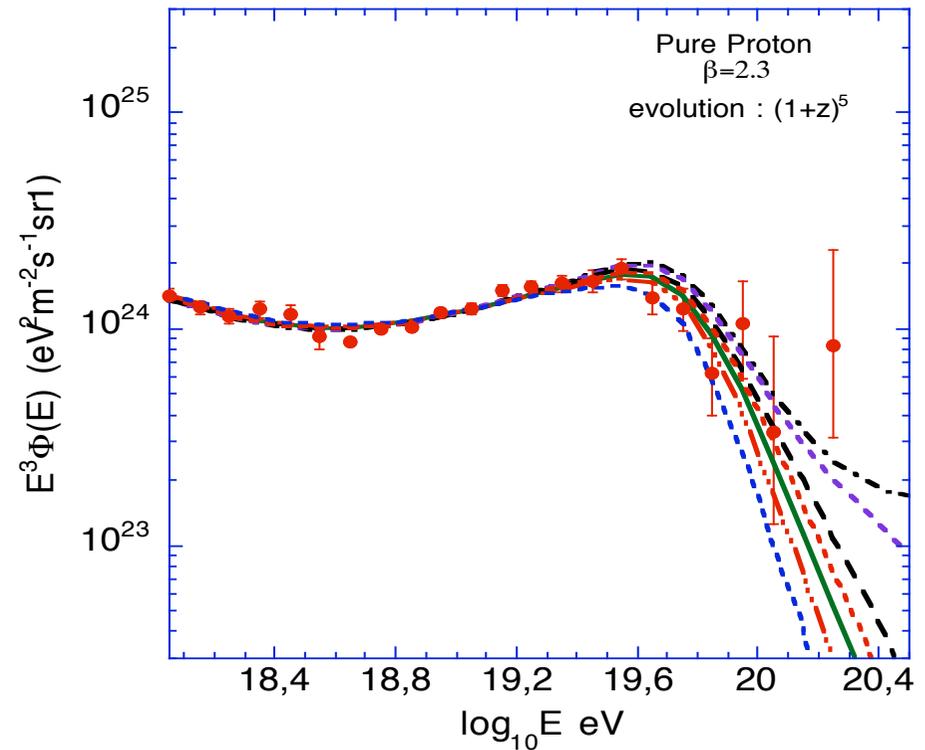
# Fit du spectre avec des protons seuls

pas d'évolution des sources



spectre source en  $E^{-2.5}$

évolution importante des sources



spectre source en  $E^{-2.3}$

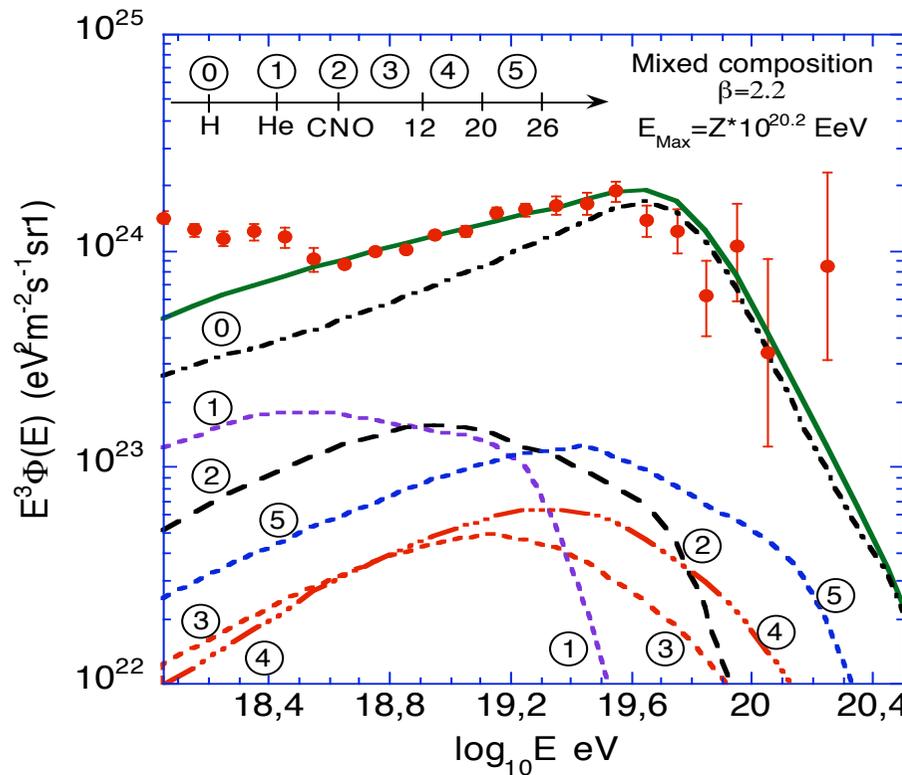
protons seuls

# Fit du spectre avec une composition mixte

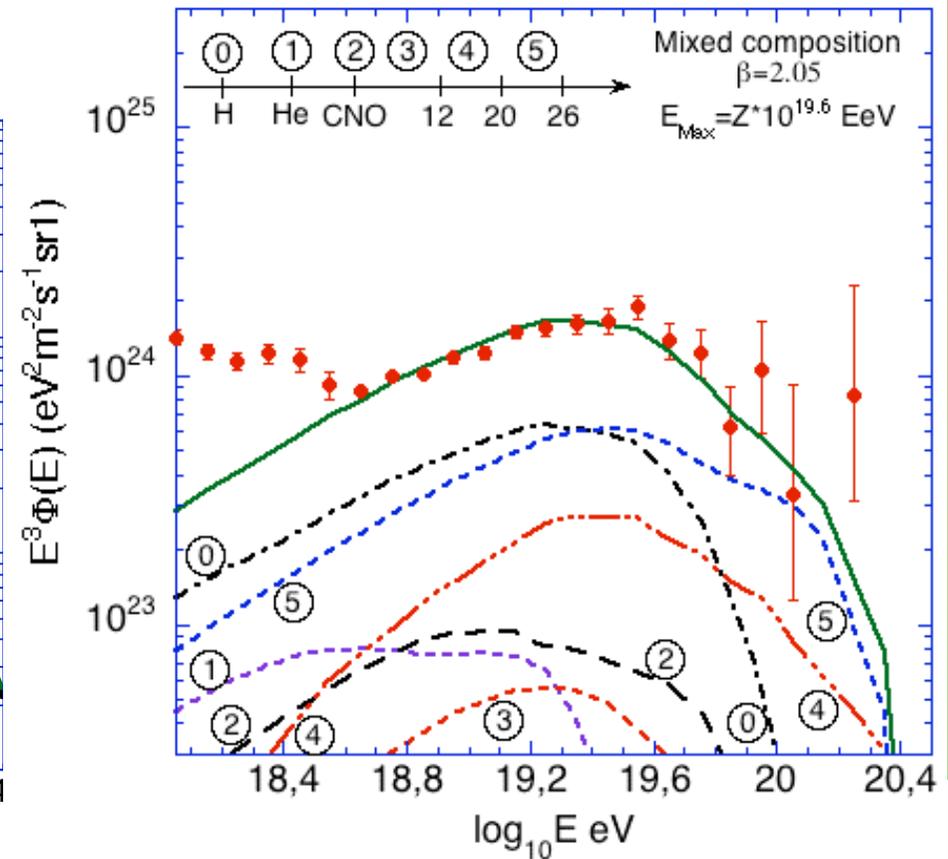
$$E_{\max}(Z) = Z \times E_{\max}(p)$$

$$E_{\max}(\text{protons}) = 40 \text{ EeV}$$

$$E_{\max}(\text{protons}) = 200 \text{ EeV}$$



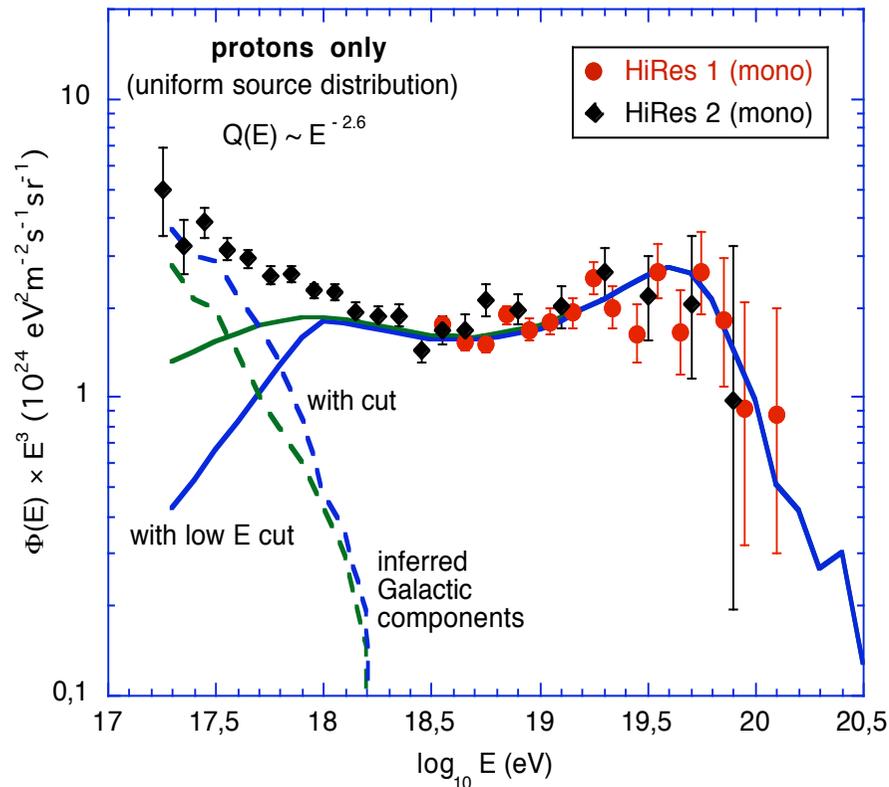
protons dominant sur Terre  
(photo-dissociation)



Fe domine sur Terre  
aux énergies extrêmes

# Y a-t-il des noyaux parmi les EGCRs?

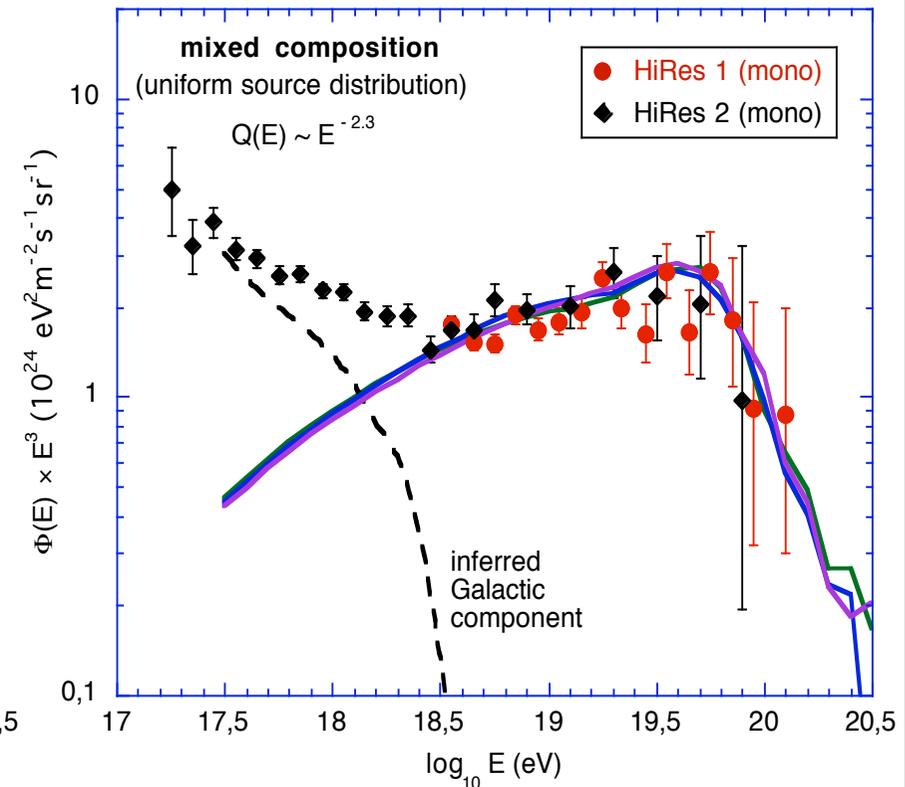
protons seuls (cf. Berezhinsky et al.)



Spectre source en  $E^{-2.6}$

cheville = "pair production dip"

composition mixte (Allard et al.)



Spectre source en  $E^{-2.3}$

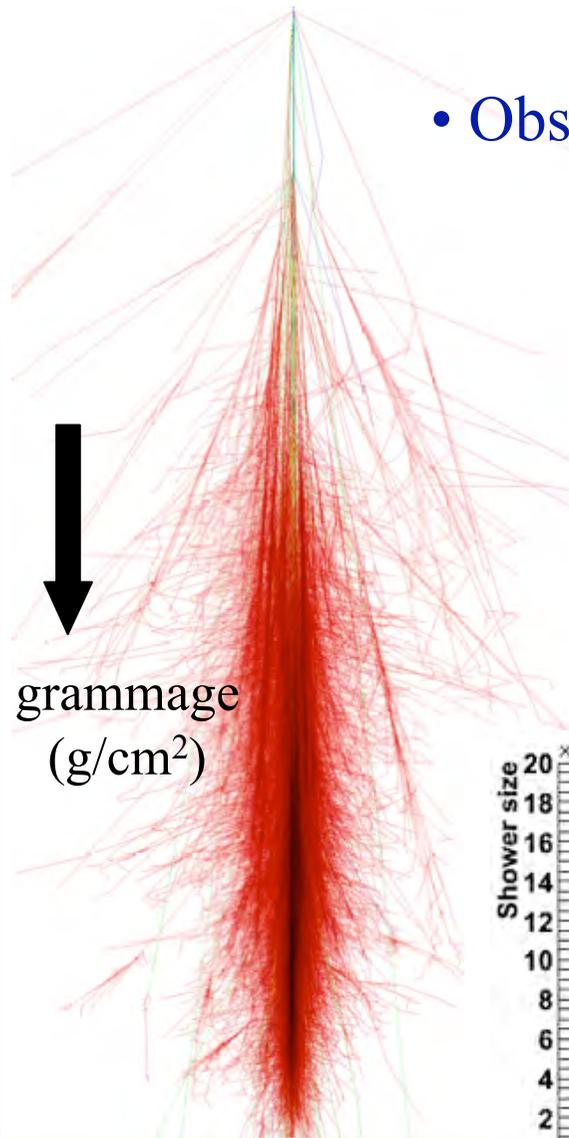
cheville = transition gal./extragal.

# L'Observatoire Pierre Auger : un détecteur gigantesque



# Détection des RC à haute énergie

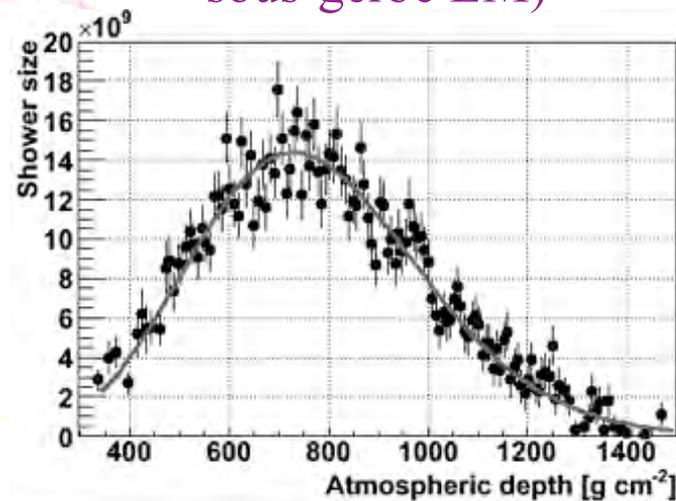
- Observation des “gerbes atmosphériques géantes”



grammage  
( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

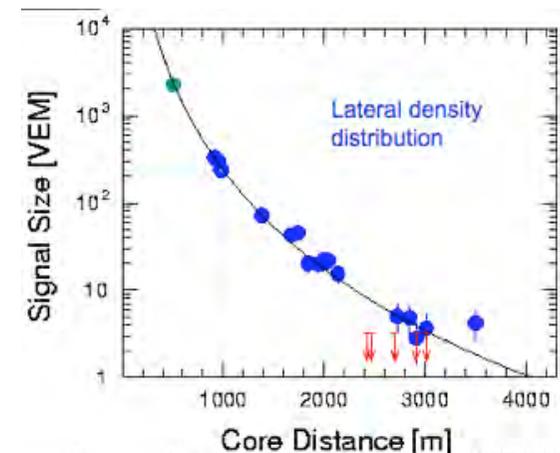
photons de fluorescence  
dans l'atmosphère  
→ développement  
longitudinal

(sensible à la  
sous-gerbe EM)



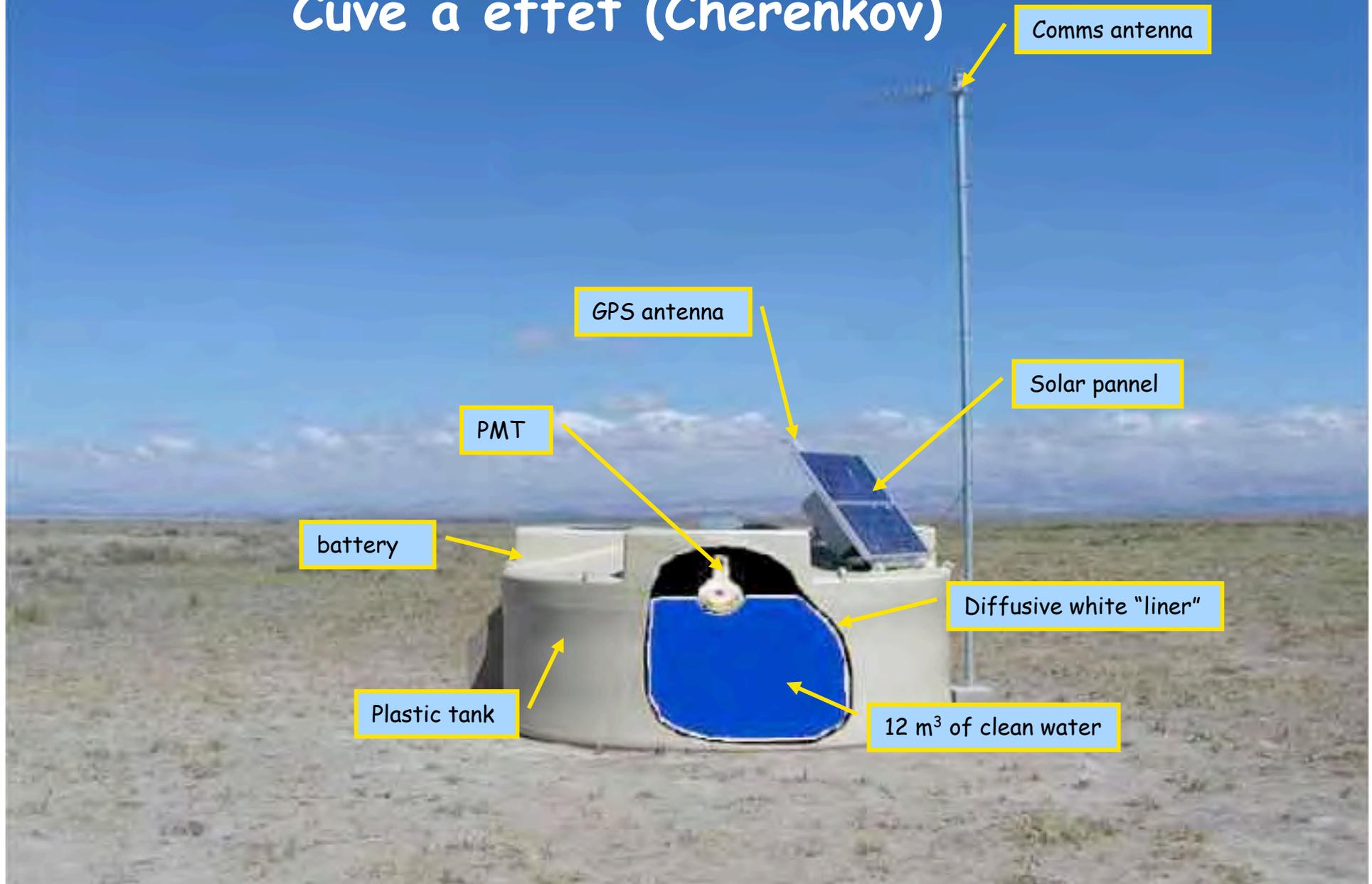
Densité de particules de  
la gerbe, mesurée au sol  
→ distribution latérale

(sensible aux sous-gerbes  
EM et hadronique)



# Une des stations d'Auger

## Cuve à effet (Cherenkov)



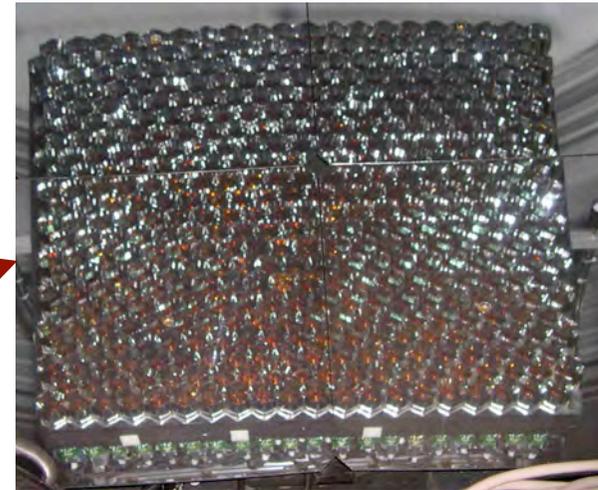
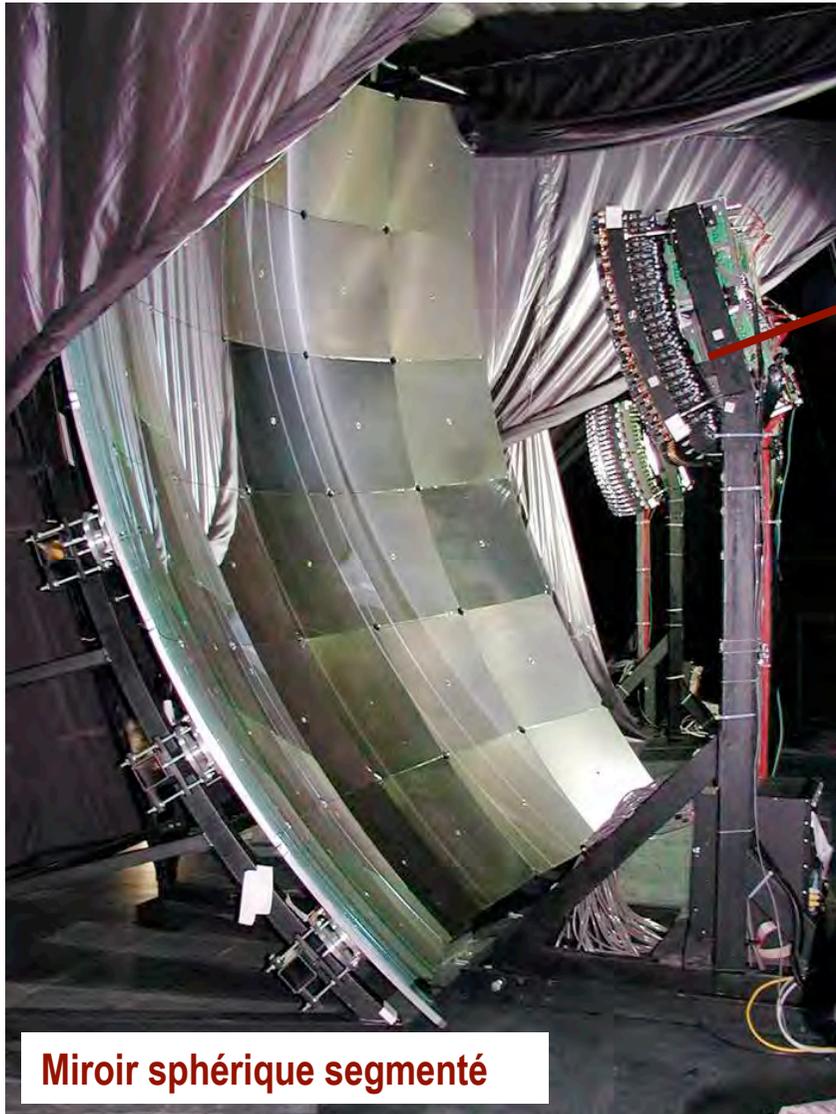
Réseau hexagonal ( $d=1.5$  km,  $S=3000$  km<sup>2</sup>)



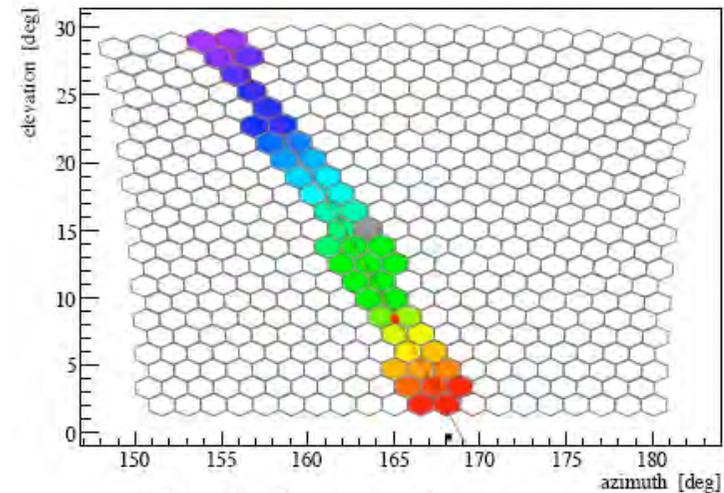
# 4 fois 6 télescopes couvrant le site



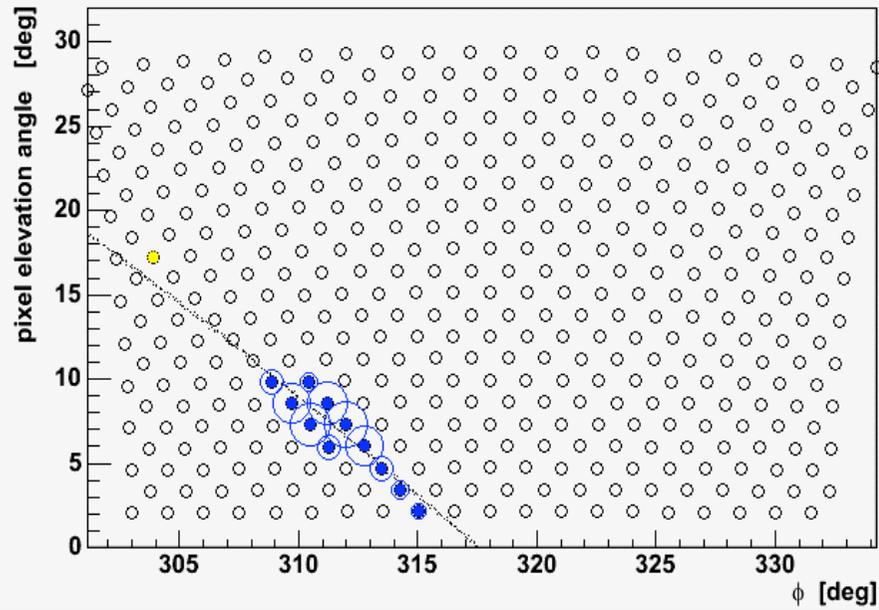
# Un des « yeux à fluorescence »



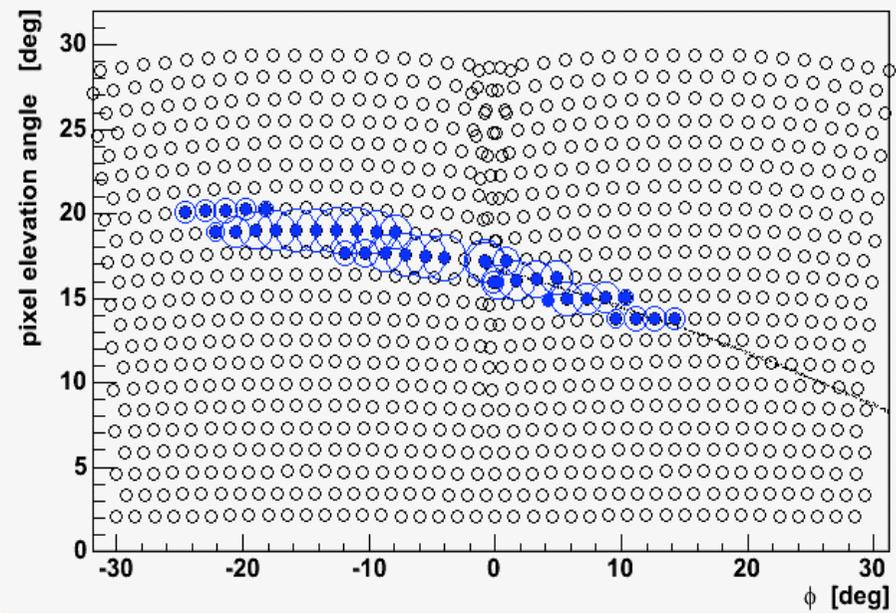
**caméra à 440 PMT 1.5° par pixel**



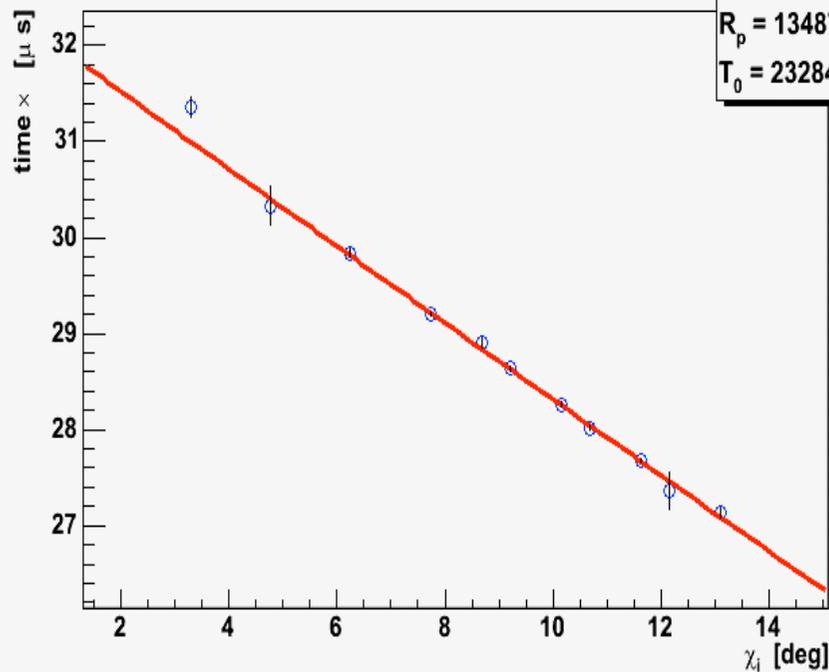
SDP Id 850019 Run 469 Event 197 Eye Id: 4



SDP Id 850019 Run 1 Event 687 Eye Id: 1

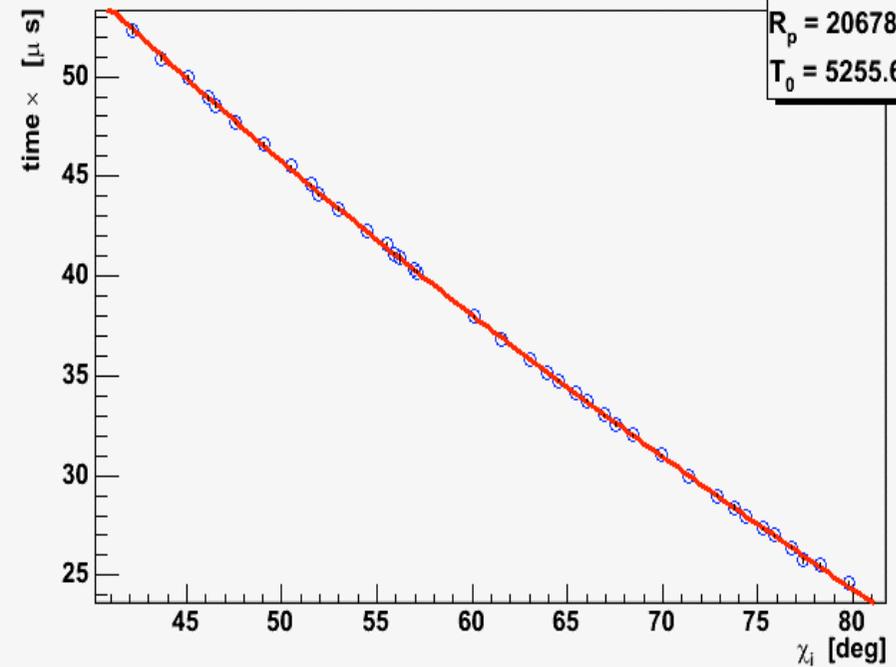


TimeFit Id 850019 Run 469 Event 197 Eye Id: 4



$\chi_0 = 22.753556$   
 $R_p = 13487.3271$   
 $T_0 = 23284.6537$

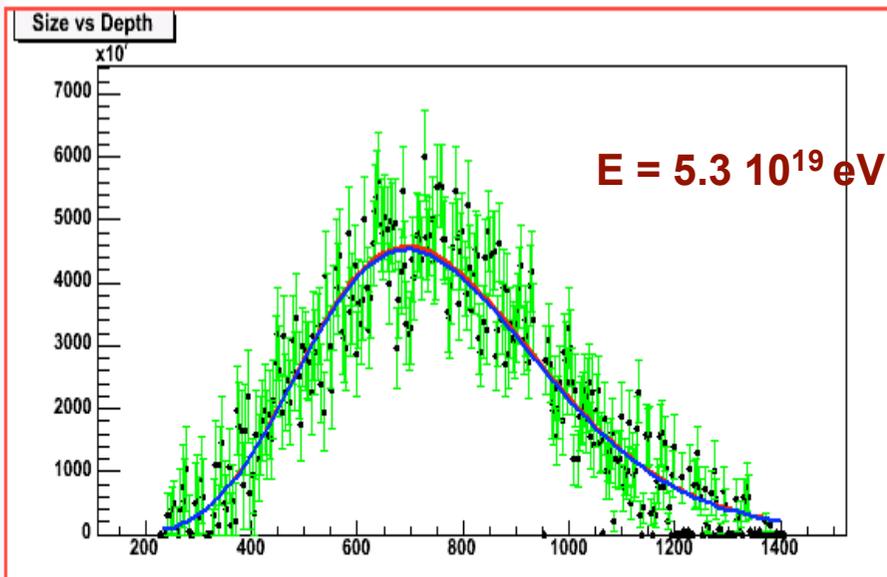
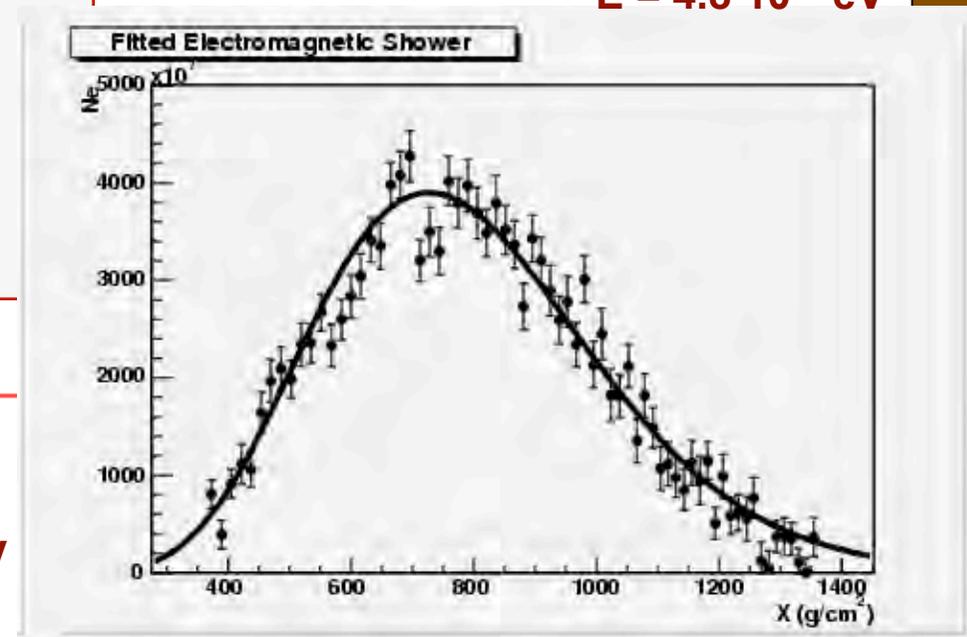
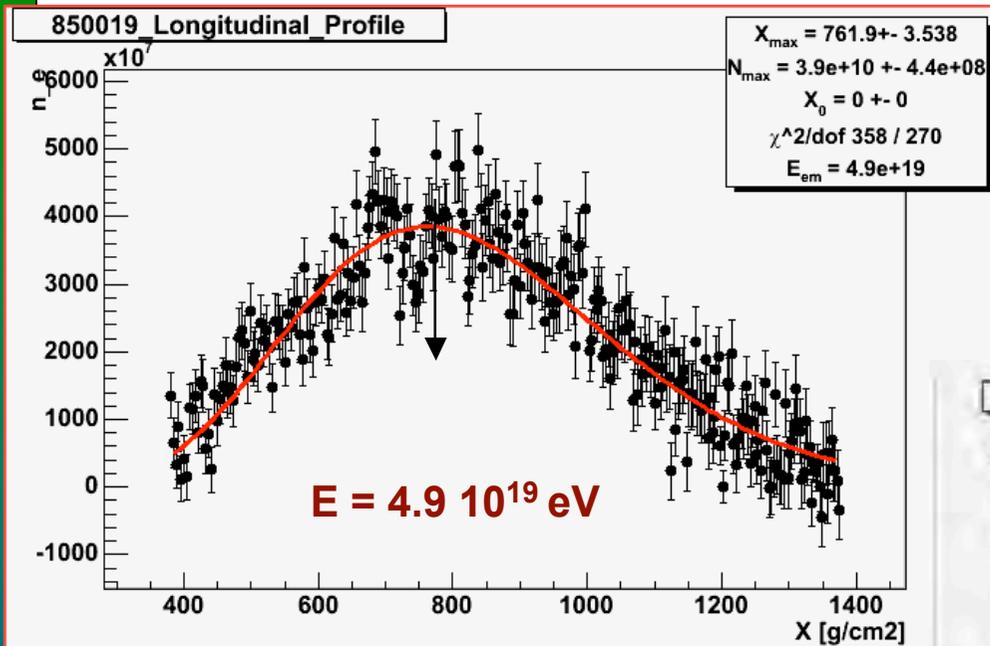
TimeFit Id 850019 Run 1 Event 687 Eye Id: 1



$\chi_0 = 110.836375$   
 $R_p = 20678.2944$   
 $T_0 = 5255.68658$

# Analyse indépendante d'événements stéréos

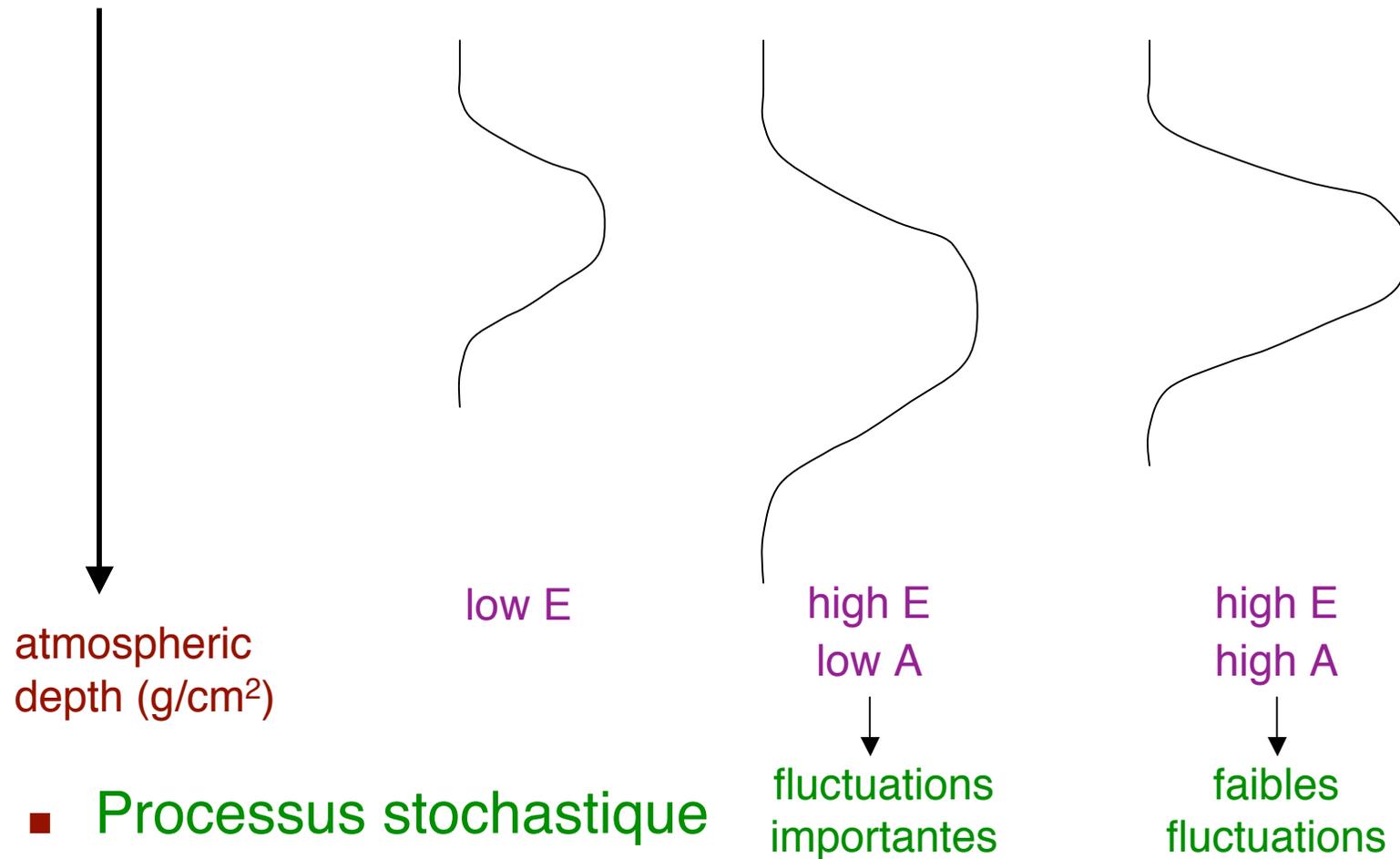
$E = 4.8 \cdot 10^{19} \text{ eV}$



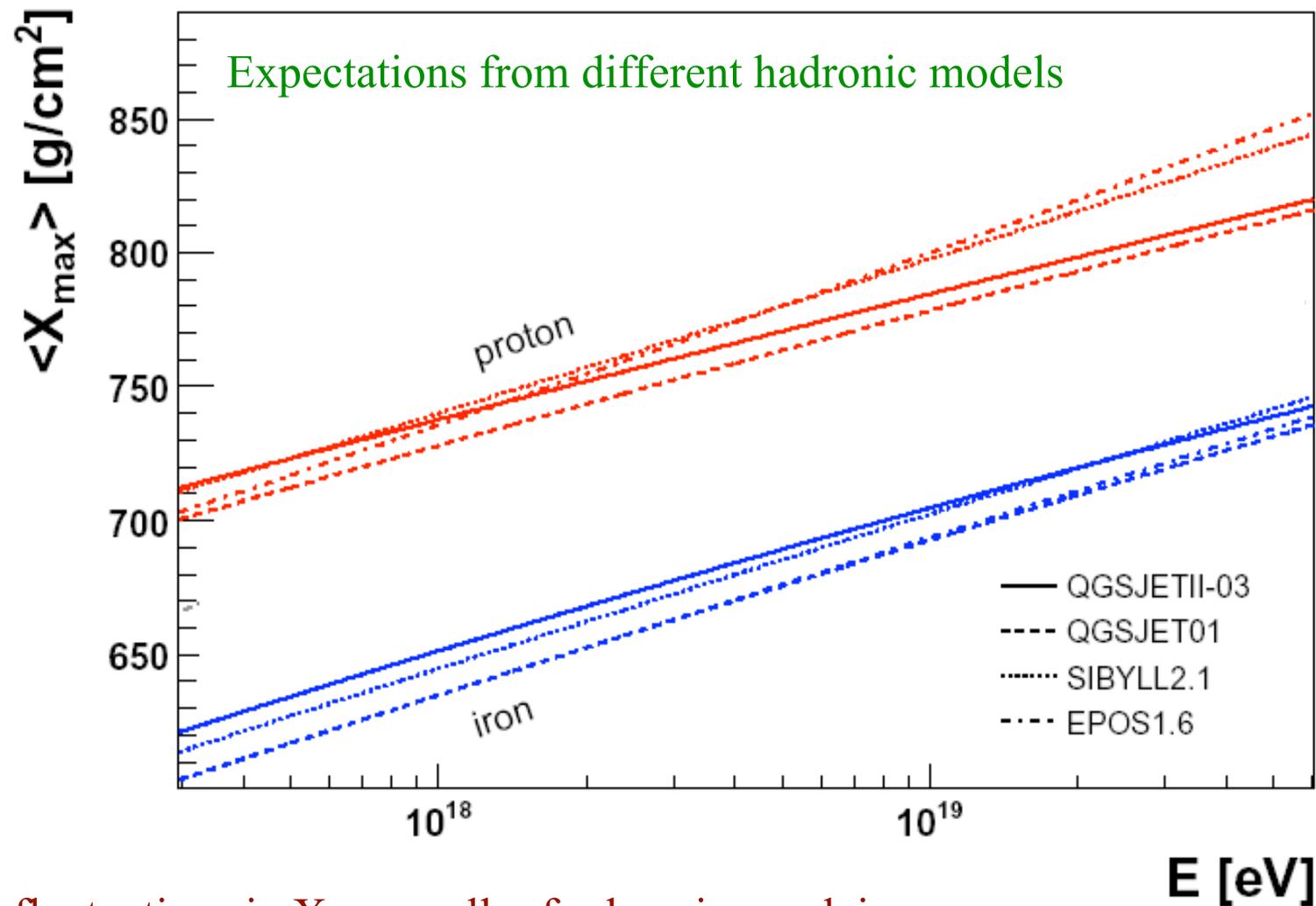
$E_{\text{em}}$  estimée en fittant un profil GH, et en intégrant...

# Observable sensible à la composition

- Profondeur du maximum de développement :  $X_{\max}$

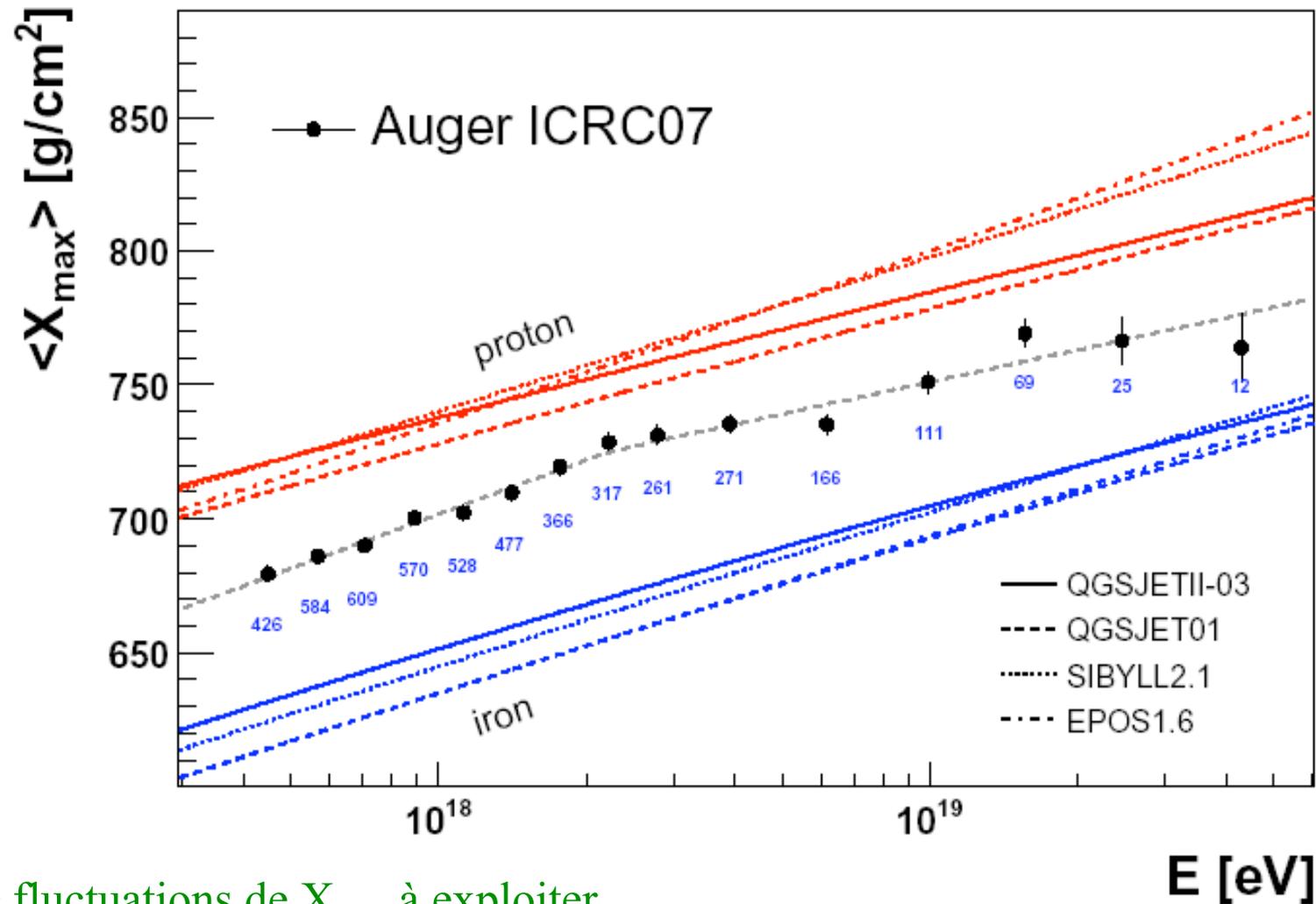


# Atmospheric depth of shower maximum



+ fluctuations in  $X_{\max}$  smaller for heavier nuclei

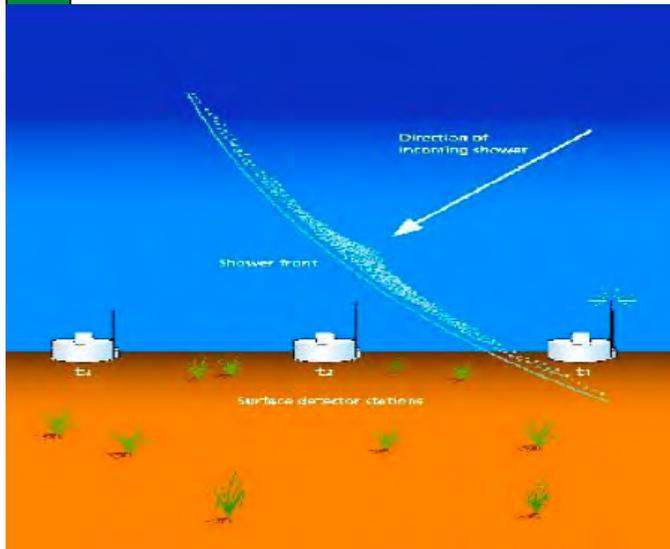
# Maximum des gerbes mesuré sur 2 décades en énergie



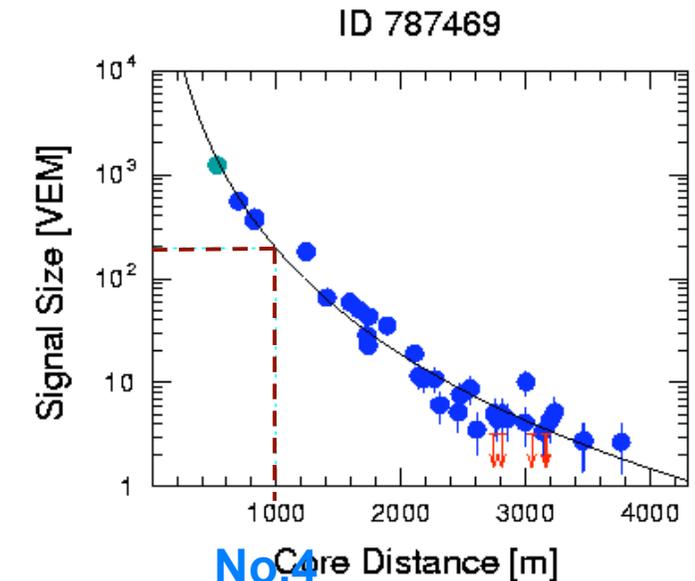
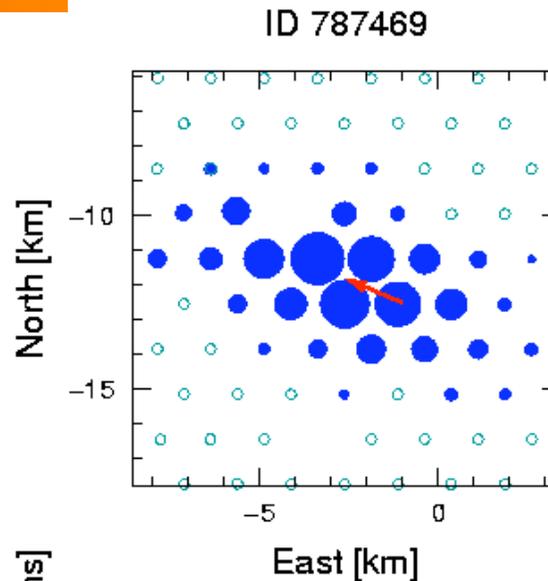
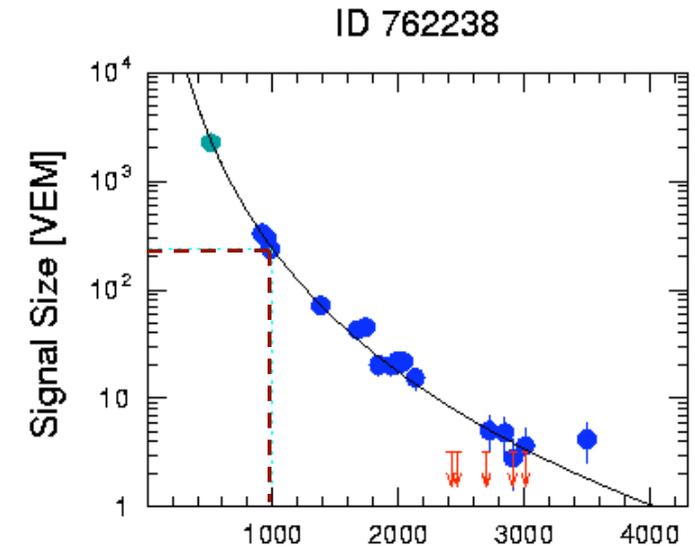
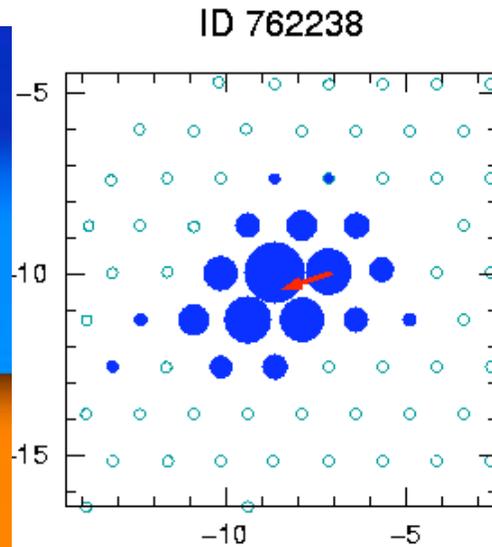
+ fluctuations de  $X_{\max}$  à exploiter

# Reconstruction avec les détecteur de surface

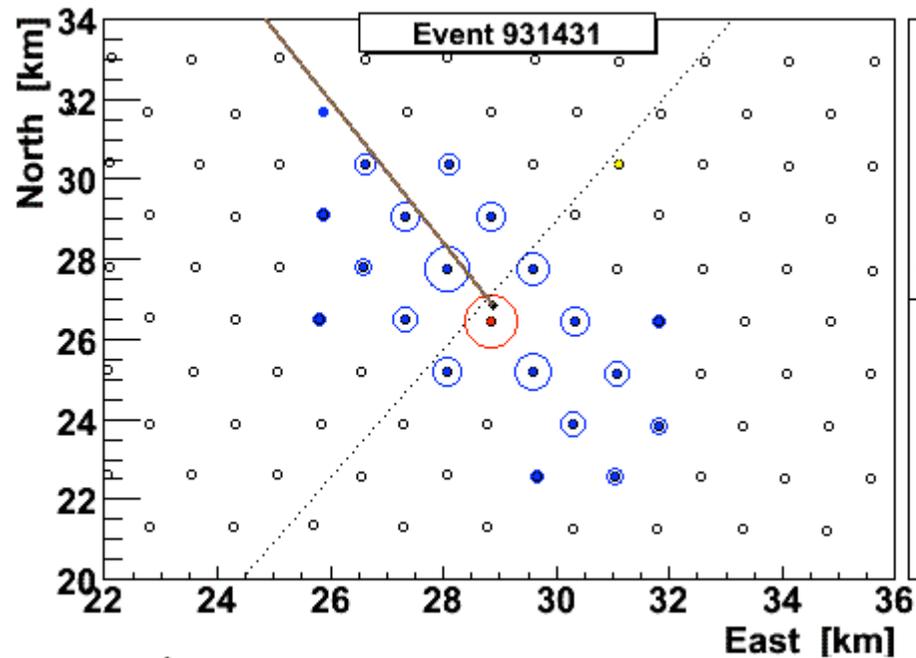
- Estimateur d'énergie: signal interpolé à 1000 mètres et à  $38^\circ$  d'angle zénithal



information temporelle  
 → triangulation  
 ↓  
 reconstruction  
 géométrique  
 (direction d'arrivée)

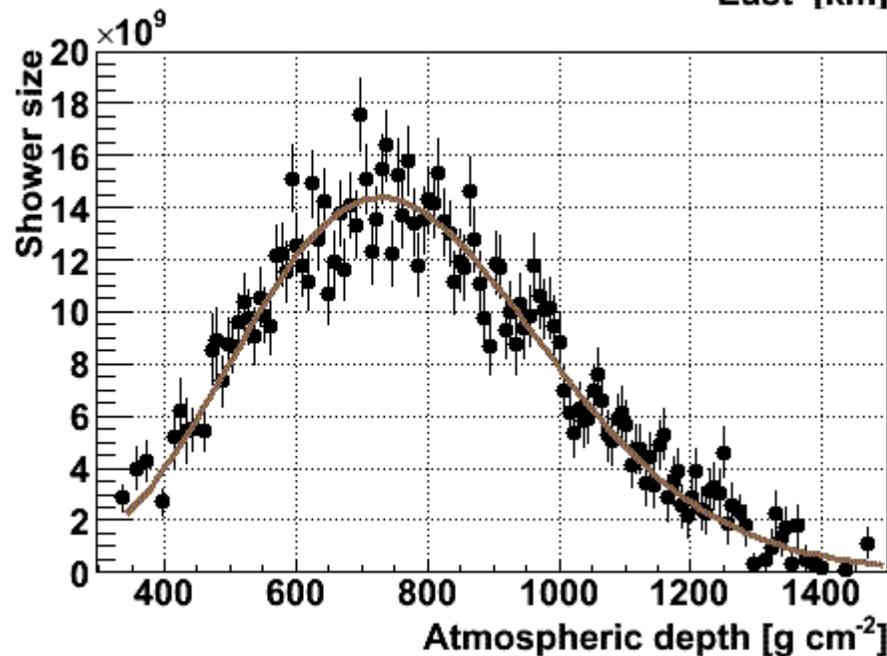


## Exemple d'événement hybride



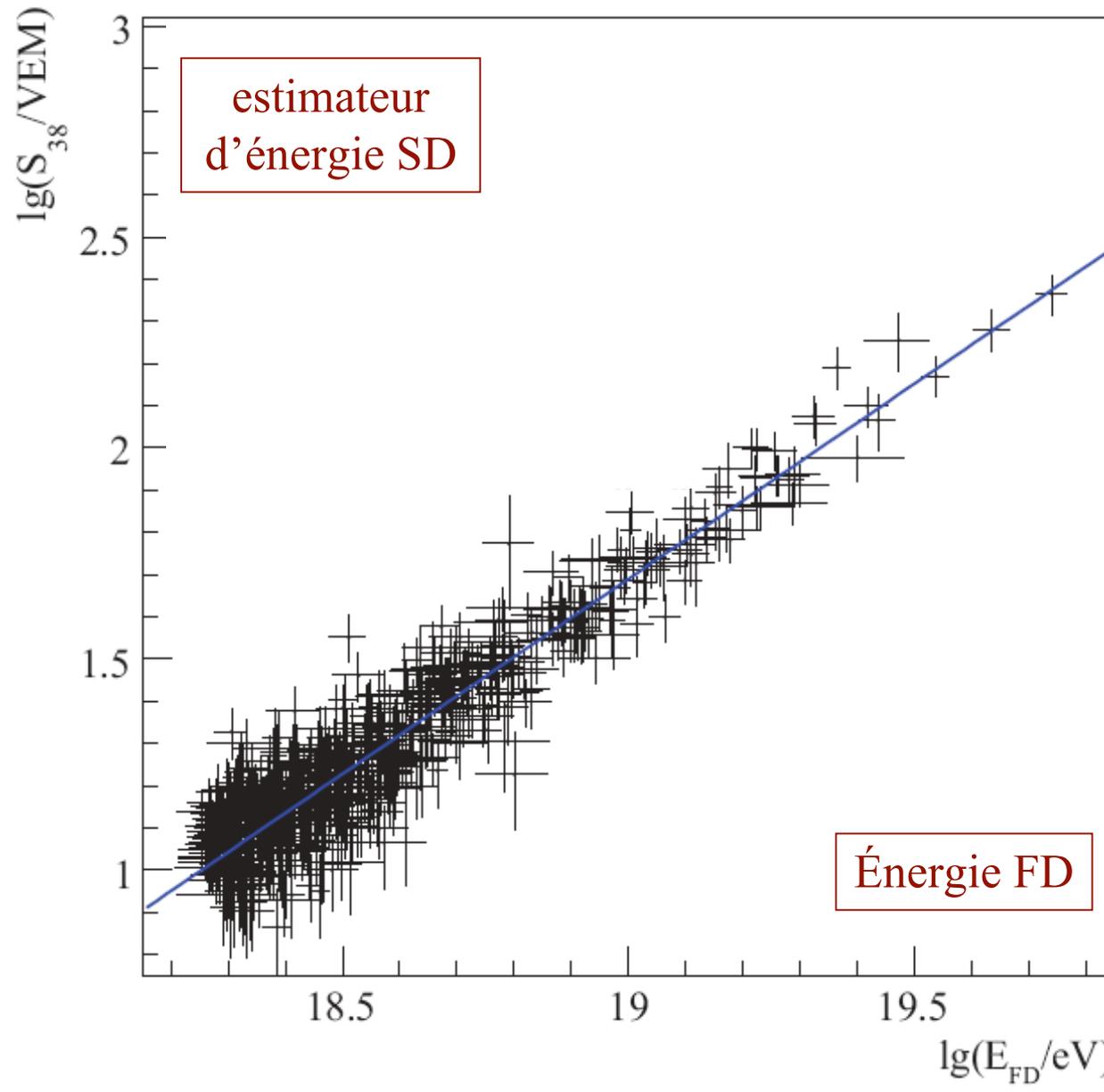
**Core location**  
 Easting  $468693 \pm 59$   
 Northing  $6087022 \pm 80$   
 Altitude = 1390 m a.s.l.

**Shower Axis**  
 $\theta = (62.3 \pm 0.2)^\circ$   
 $\phi = (119.7 \pm 0.1)^\circ$



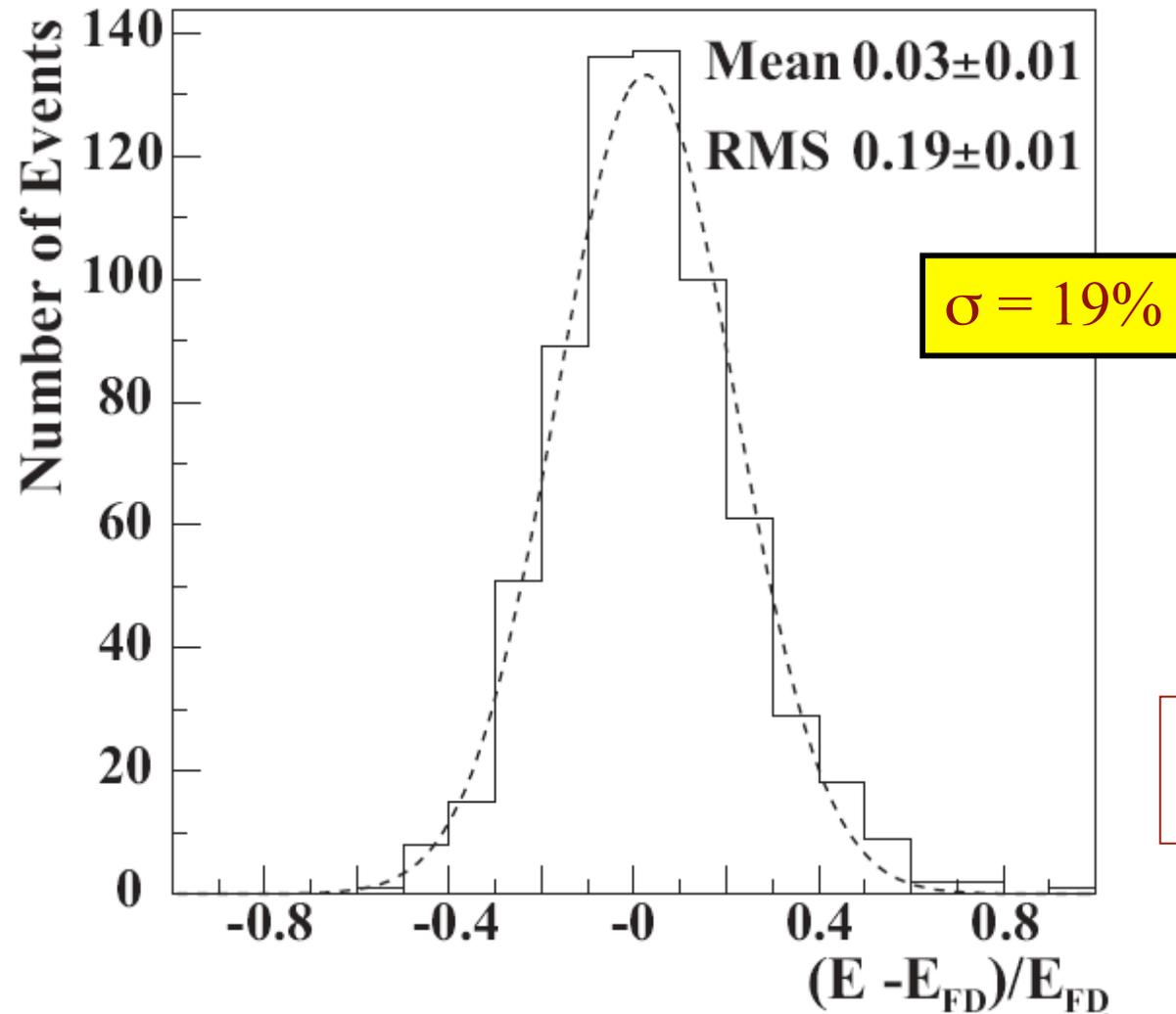
**Energy Estimate:**  
 $X_{\text{max}} = (728 \pm 20) \text{ g cm}^{-2}$   
 $\chi^2/\text{dof} = 258 / 134$   
 $E_{\text{em}} = (21 \pm 5) \text{ EeV}$   
 $E_{\text{tot}} = (23 \pm 6) \text{ EeV}$

# Inter-calibration des détecteurs

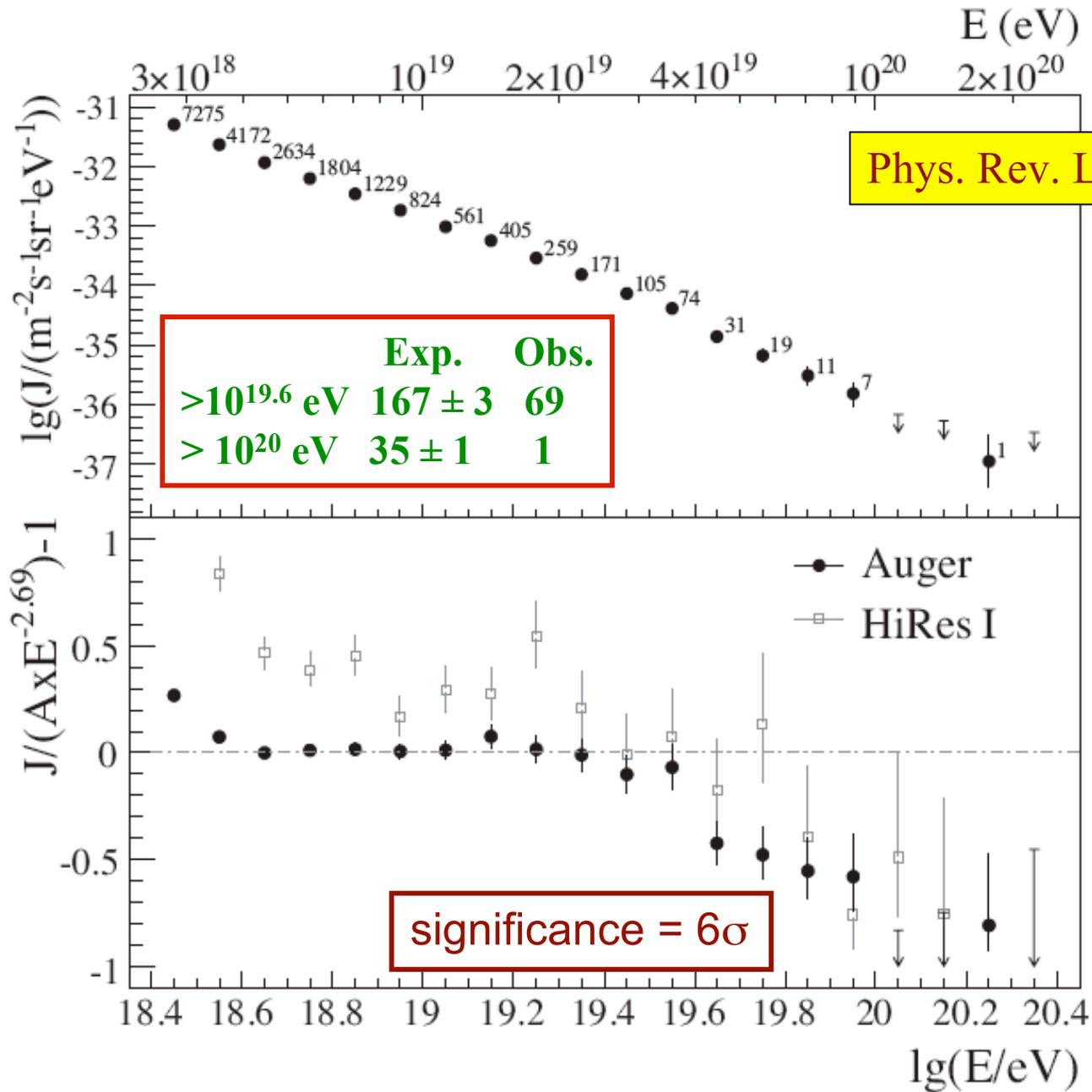


# Inter-calibration des détecteurs

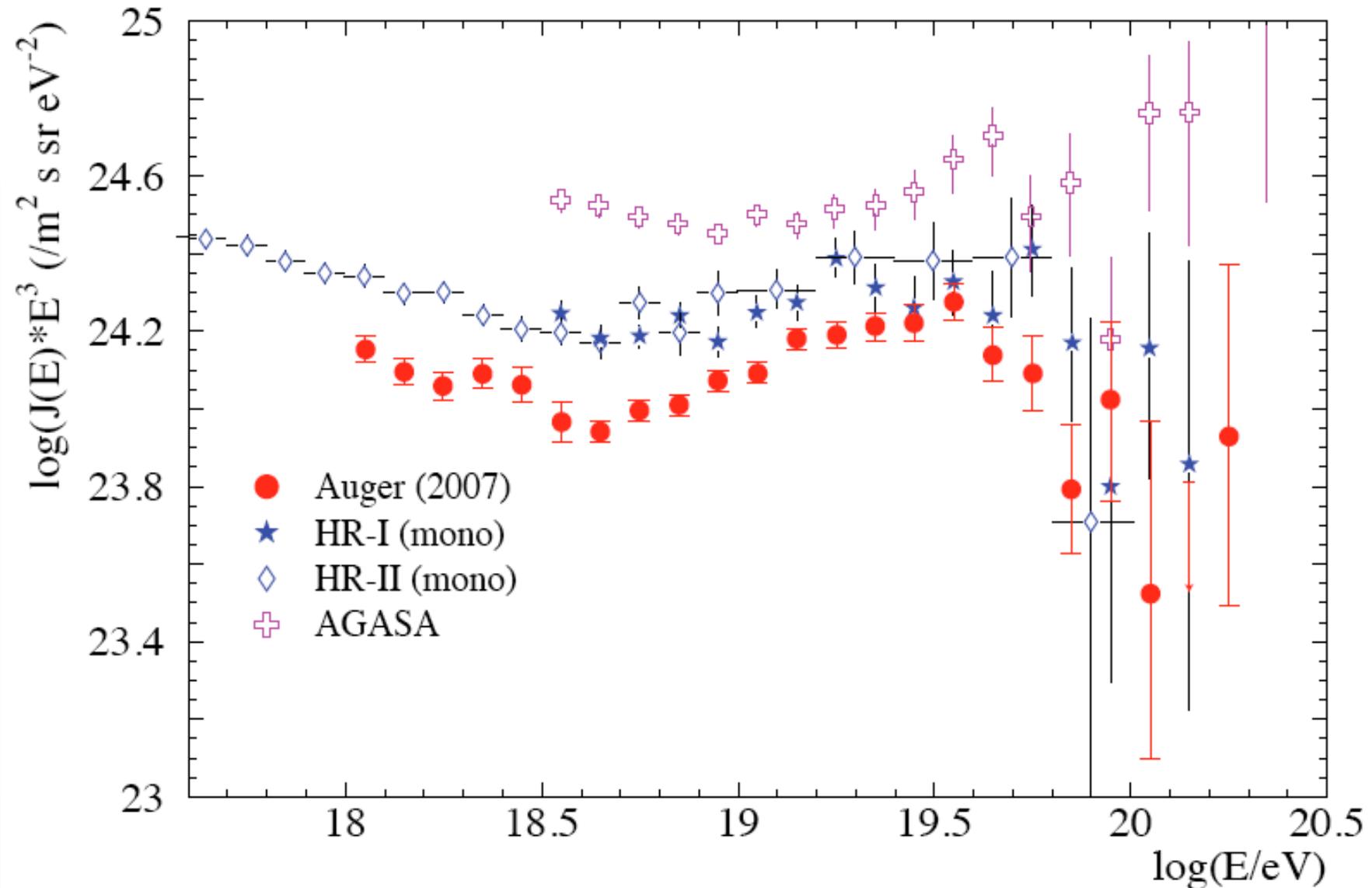
Dispersion fractionnelle des estimations d'énergie FD/SD



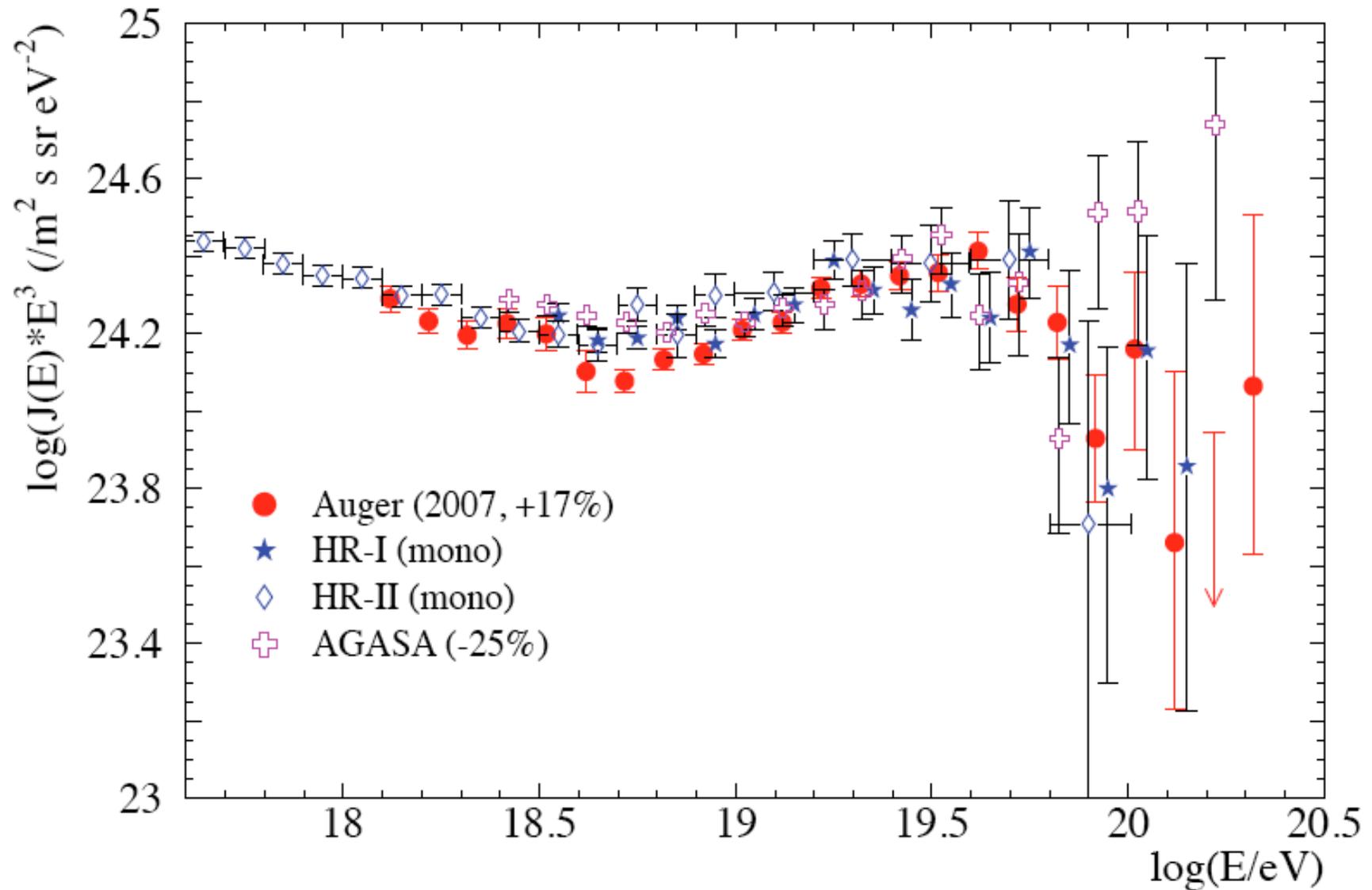
# Spectrum d'énergie (SD, gerbes ayant $\theta \leq 60^\circ$ )



# Spectrum d'énergie



# Spectrum d'énergie



# Résultat d'anisotropie

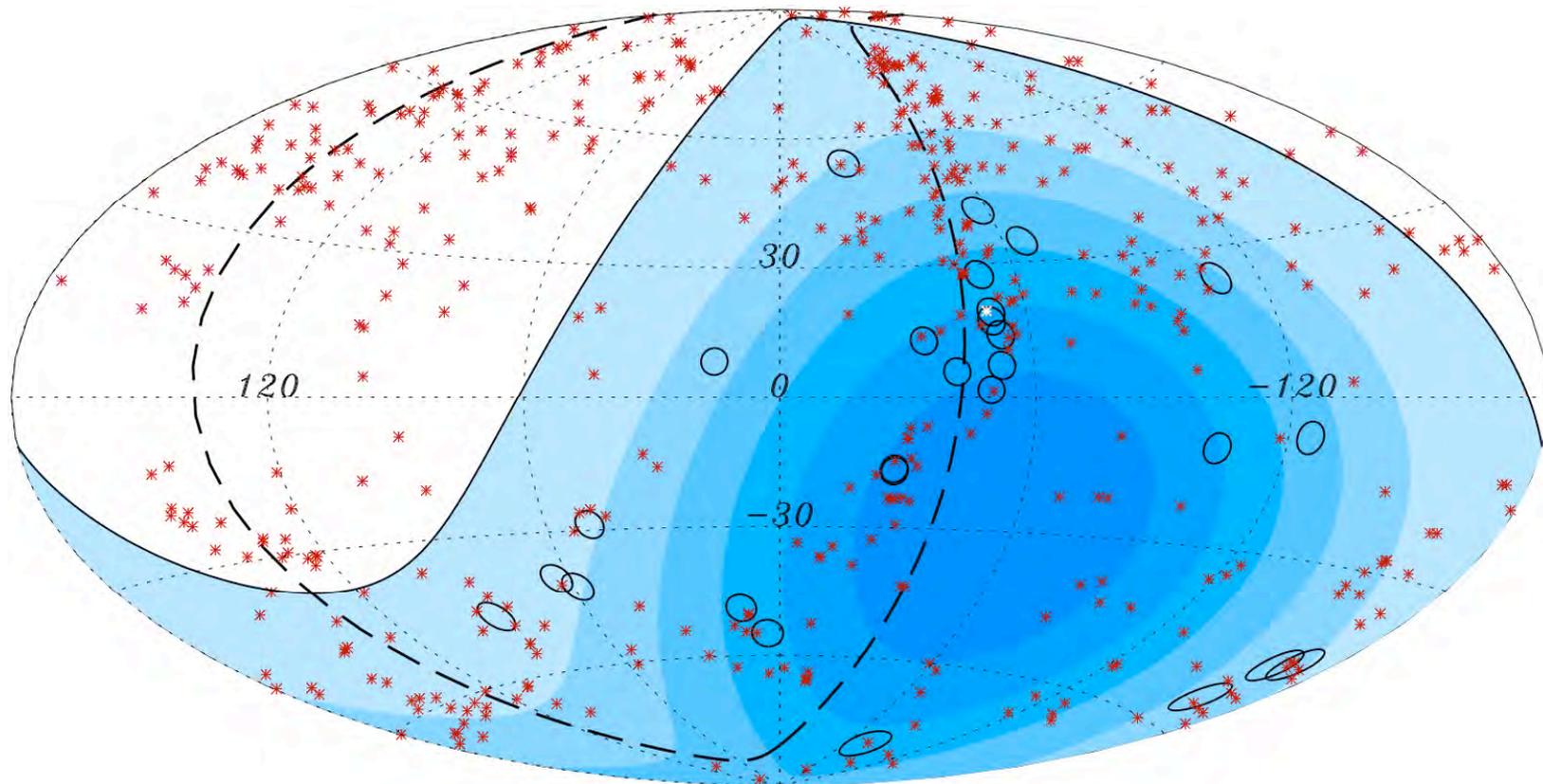
- resolution angulaire de  $\sim 1^\circ$ : suffisant!
  - Pas de signal à grande échelle angulaire (dipole), à aucune énergie supérieure à 1 EeV  
e.g.  $\alpha < 0.7\%$  for  $1 \text{ EeV} \leq E \leq 3 \text{ EeV}$
  - Pas d'excès significatif au centre Galactique
  - Pas de signal associé aux BL-Lacs (cf. HiRes)
- ➔ aucune suggestion antérieure n'est confirmée...

# Principal résultat d'anisotropie d'Auger

- Les rayons cosmiques de très haute énergie ont une distribution anisotrope !
- Première preuve que l'astronomie rayons cosmiques est possible!
- Correlation avec la distribution de matière locale (limite en distance)
- Début d'une ère nouvelle :
  - ◆ Étude de l'accélération des particules dans les sources de l'astrophysique des hautes énergies
  - ◆ Étude "multi-messenger" des sources
  - ◆ Physique à très haute énergie !

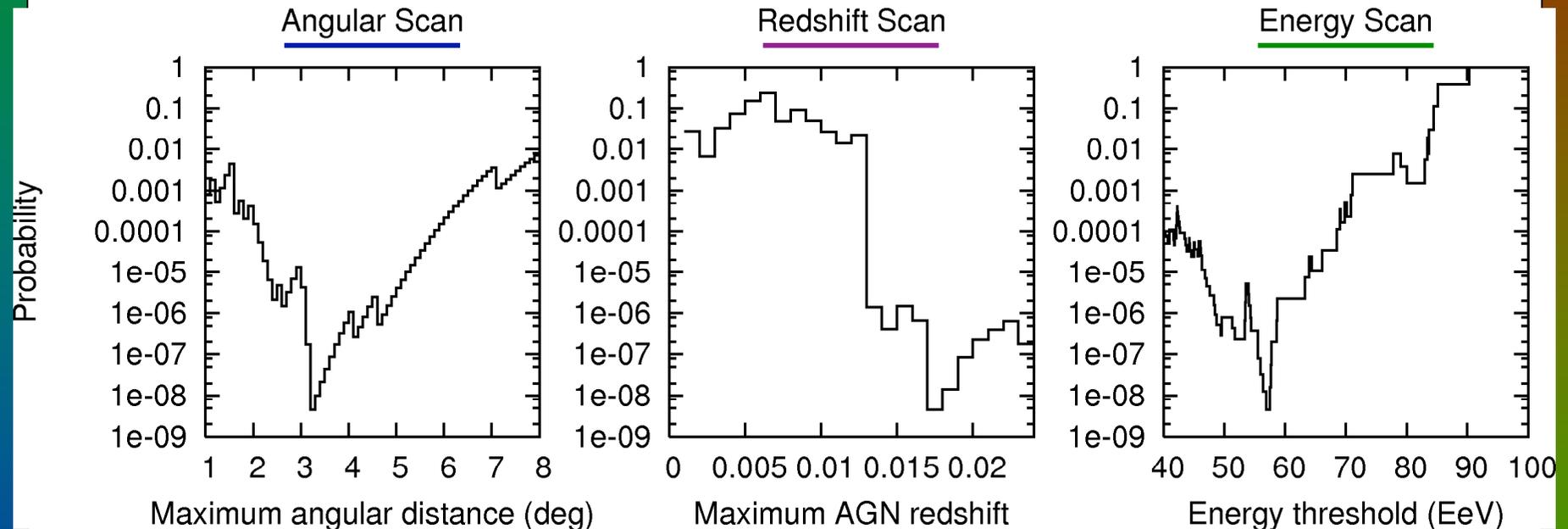


# Principal résultat d'anisotropie d'Auger



# Principal résultat d'anisotropie d'Auger

3 paramètres libres dans la définition de la corrélation



$$\Delta\theta \leq 3.1^\circ$$

$$z \leq 0.018$$

$$(D \leq 75 \text{ Mpc})$$

$$E \geq 56 \text{ EeV}$$

# Significance du résultat d'anisotropie

pas une résultat sur les AGN !

- Véron-Cetty / Véron, 12th Edition, 2006

“This catalogue should not be used for any statistical analysis as it is not complete in any sense, except that it is, we hope, a complete survey of the literature.”

# Significane du résultat d'anisotropie

pas une résultat sur les AGN !

- 1st step: search between HECR arrival directions and various source catalogues (hard to estimate how many, how intensively, etc.) (data from 2004/01/01 to 2006/05/26)
- A very large “raw significance” was found with the 12<sup>th</sup> VCV catalogue of AGNs
  - ◆ Even after taking into account generous penalty factors for a posteriori searches and scanning of parameter space



Did not seem to be fluctuation



Auger collaboration set up a prescription for future data

- Most significant *a posteriori* “correlation signal”:

3.2 expected  
from isotropic  
distribution

12 out of 15 events above “56 EeV” are closer than 3.1°  
from an AGN in 12<sup>th</sup> VCV with  $z \leq 0.018$  ( $D \leq 75$  Mpc)

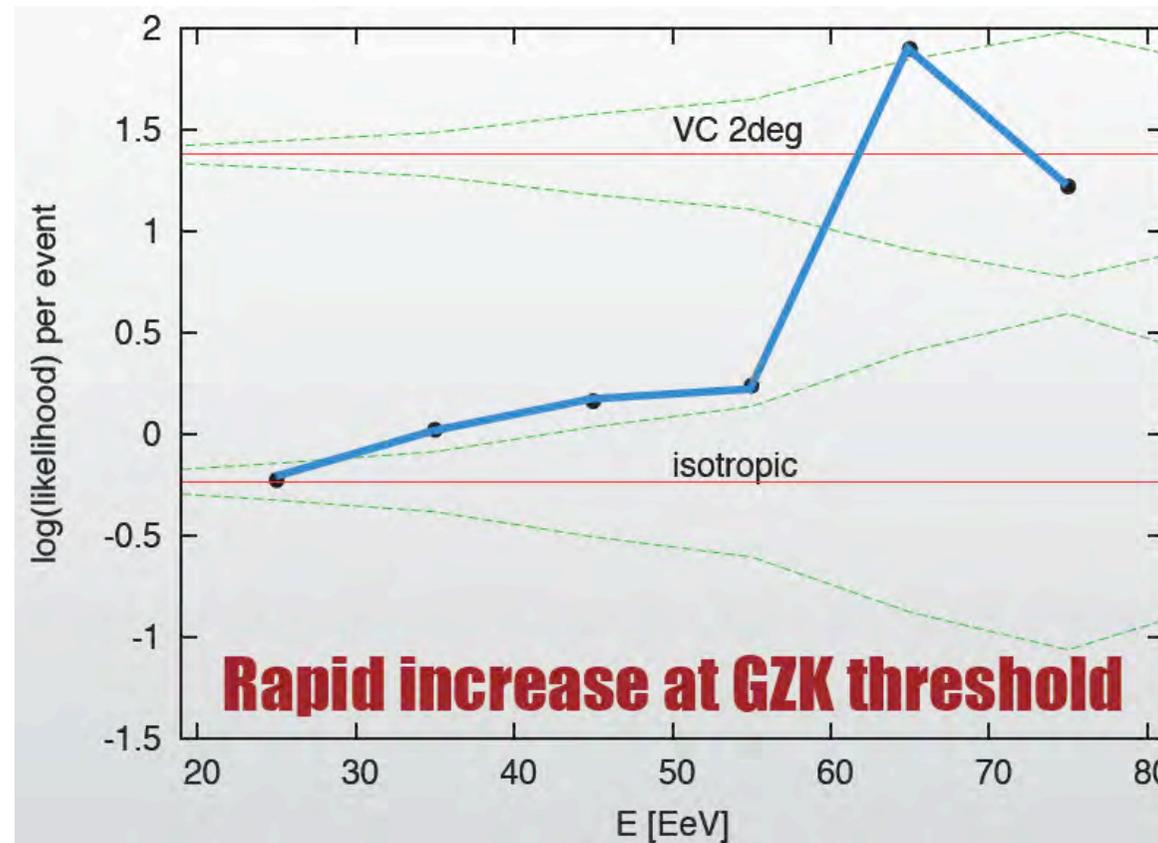
# Significane du résultat d'anisotropie

pas une résultat sur les AGN !

- **2nd step:** predefine a region in the sky where there seems to be an excess of CR flux, and see if the next highest energy cosmic rays come from this region
  - 21% chance from isotropic distribution
  - - Independent data set
    - prescribed parameters
    - unambiguous significance (Confidence Level)
  
- **Result:** 99% CL that the excess we had seen in the original data set was not a random fluctuation from an otherwise isotropic cosmic ray distribution
  - 8 “correlating events” out of 13 (2.7 expected)
  - “CR distribution is not isotropic at the highest energies!”
    - corroborated by other analyses, independent of any source catalogue

# Significance du résultat d'anisotropie

pas une résultat sur les AGN !



The energy above which the correlation is most significant corresponds to an energy where the CR flux drops... (supporting the GZK interpretation)

# Astrophysical implications?

- Not clear yet! (very low statistics to check against any model, whether naive or sophisticated)
- Can UHECRs come from AGNs? → YES  
But we knew that before!
- Do UHECRs have to come from AGNs? → NO!
- NB: no claim from Auger!

# Résumé des résultats d'Auger

## composition

des noyaux,  
pas de photons  
ni de neutrinos

**accord** avec les  
attentes astrophysiques

implications pour la  
**transition** gal./extragal. ?

**Unité** de la science des  
RC + sources à basse E?

Rend l'étude des RCHE  
encore **plus riche** !

## spectre E

cheville +  
coupure GZK

**Excellente nouvelle** !  
prédction 40 ans !

⇒ sources proches  
⇒ « astronomie RC »!  
+ sources isolées !

+ physique à haute énergie  
étude des gerbes (muons,  
modèles hadroniques...)

cf. genou + **LHC** !

## directions

ciel anisotrope

**Un des résultats les plus  
importants depuis 100 ans !**

⇒ une forme de  
“astronomie RC” est  
**possible** (vient de débiter !)

⇒ intégrer les RC au  
*corpus* de  
l'astrophysique !

# Rayons cosmiques, année zéro !

- **Question** (vieille d'un demi siècle): peut-on faire de l'astronomie avec les rayons cosmiques ?
- **Réponse** (vieille d'un an): **oui !**
- **Ouverture historique de l'astronomie non-photonique !**
  - ◆ À portée d'expérience : identification et étude des sources individuelles
  - ◆ Nécessité d'augmenter la puissance de collection des RCUE

➡ Au sol ? (Auger Nord à Lamar, Colorado)

➡ Détection depuis l'espace (JEM-EUSO, S-EUSO...)

**Les sources sont là : allons les chercher !**

- **Nombreuses questions**
  - ◆ sources, origine des RC, mécanismes d'accélération, physique des sources de haute énergie dans l'univers, lien avec les RC de basse énergie et l'écologie galactique
  - ◆ Étude de la physique à haute énergie (résultats du LHC très attendus !)

# Auger Sud ne suffira pas !

- Étudier les sources individuellement !

- 1 particule/km<sup>2</sup>/siècle sur l'ensemble du ciel

S'il y a ~10 sources principales, on a ~ 1 particule/km<sup>2</sup>/millénaire !

→ détecteur ~10 fois plus grand

**Auger Nord**



voie naturelle

Auger sud en plus grand  
4 400 cuves, 21 000 km<sup>2</sup>

dernière étape au sol

"collaboration ~ ± existante"  
"plan de financement à construire"

**JEM-EUSO**



voie exploratoire

Observatoire des gerbes depuis l'espace  
190 000 km<sup>2</sup> (mais slmt 20% du temps)

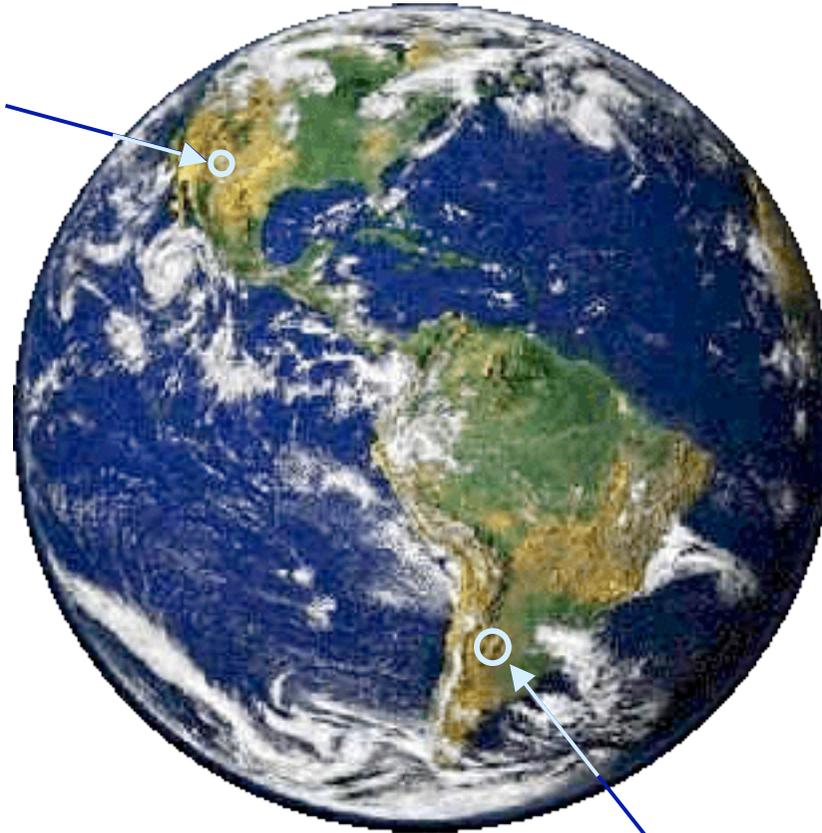
première étape dans l'espace

"collaboration à construire"  
"plan de financement ~ ± existant"

# L'Observatoire Pierre Auger

site nord

> 21 000 km<sup>2</sup>

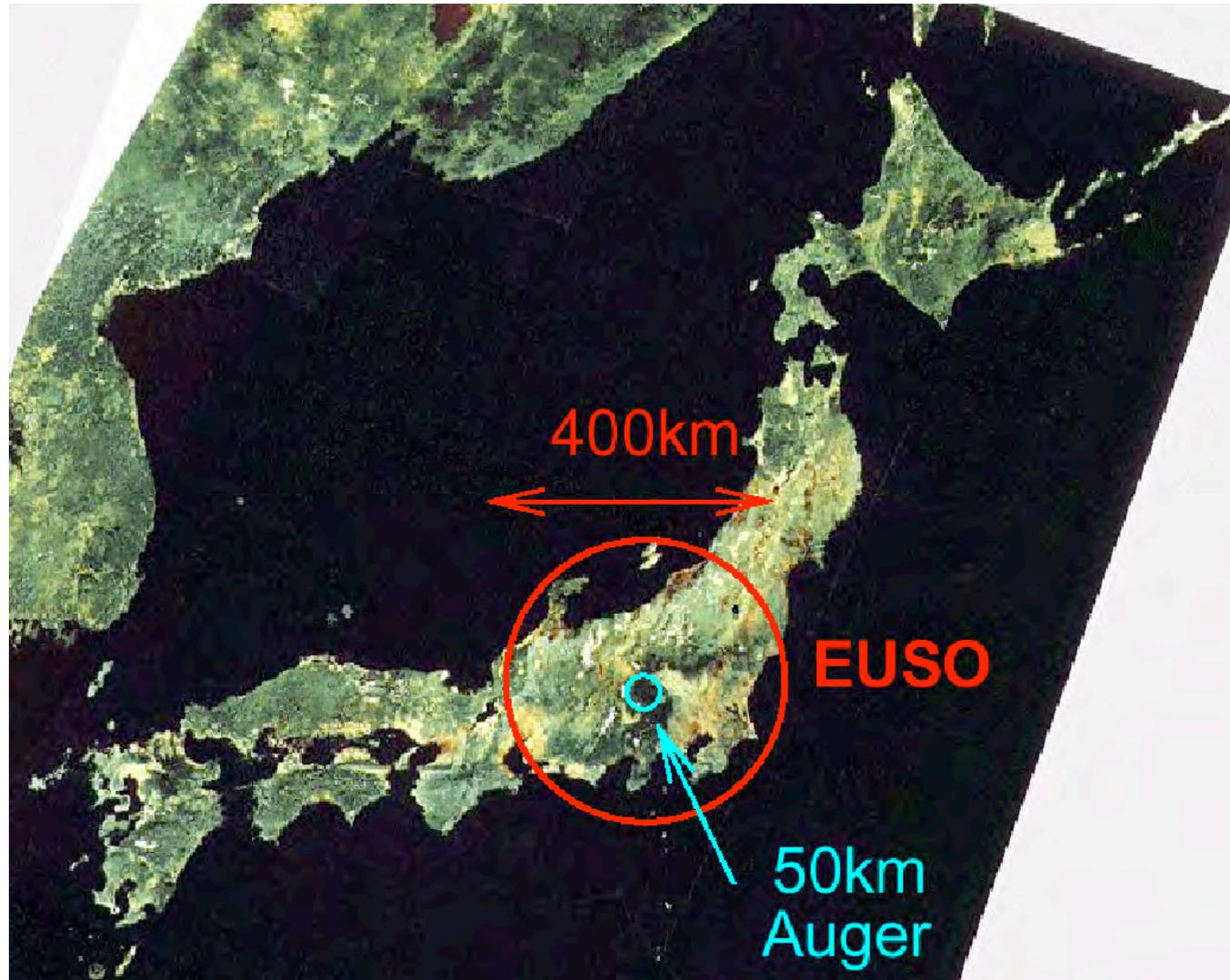


3 000 km<sup>2</sup>

site sud

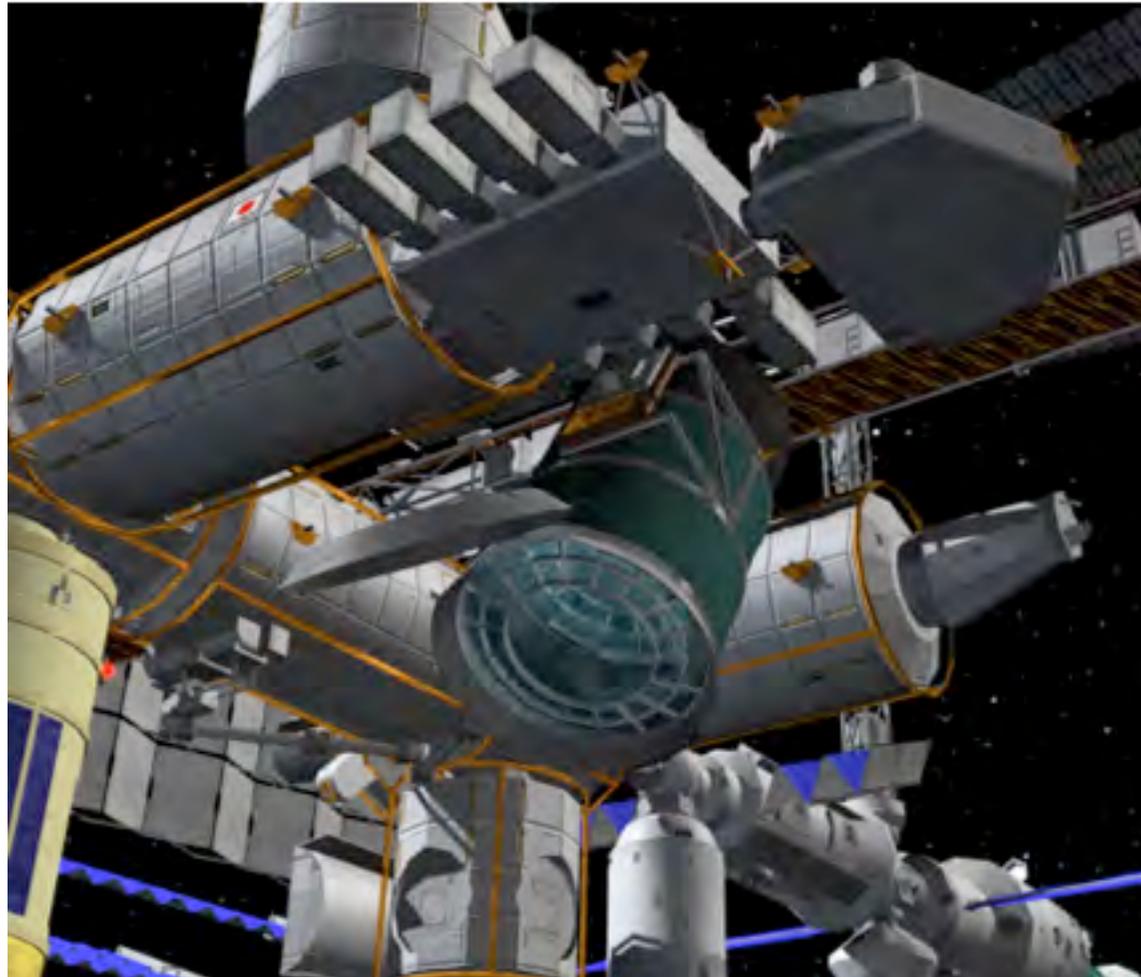
# JEM-EUSO

(Extreme Universe Space Observatory)



# JEM-EUSO (lancement prévu en 2013)

(Japanese Experiment Module)

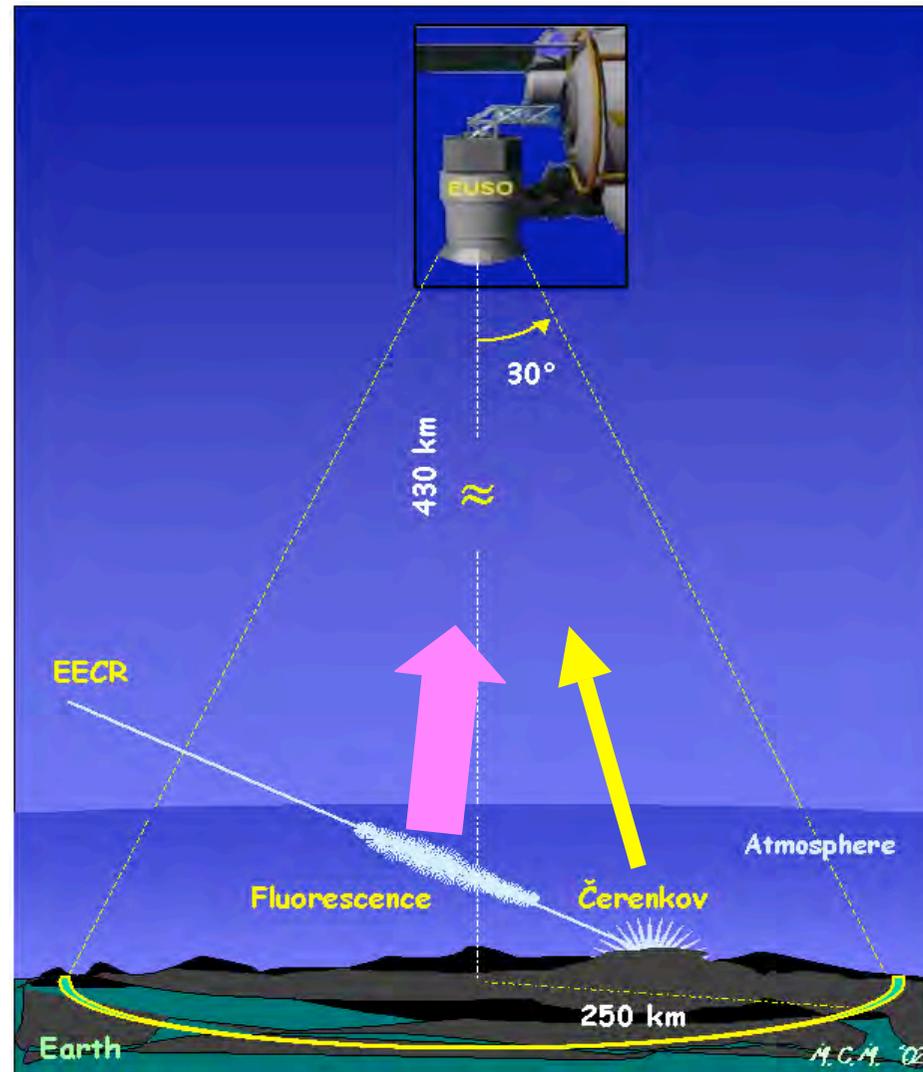


Sur le module japonais de la station spatiale internationale...

# Détection de la fluorescence des gerbes depuis l'espace

Volume de  
détection  
considérable !

190 000 km<sup>2</sup>



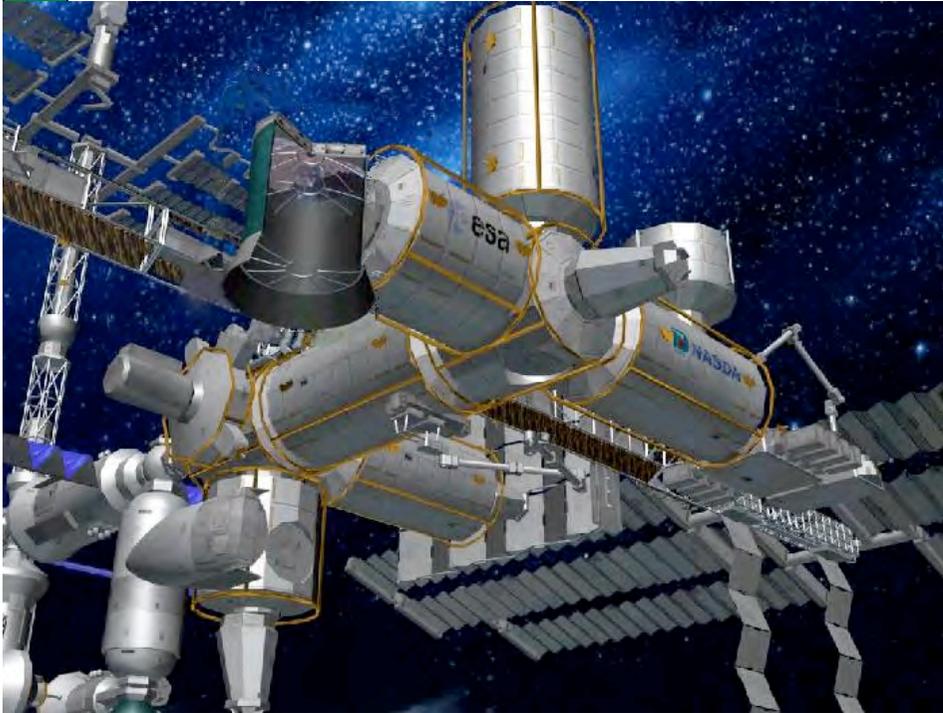
Ne fonctionne  
que les nuits  
sans Lune...

20% de  
cycle utile

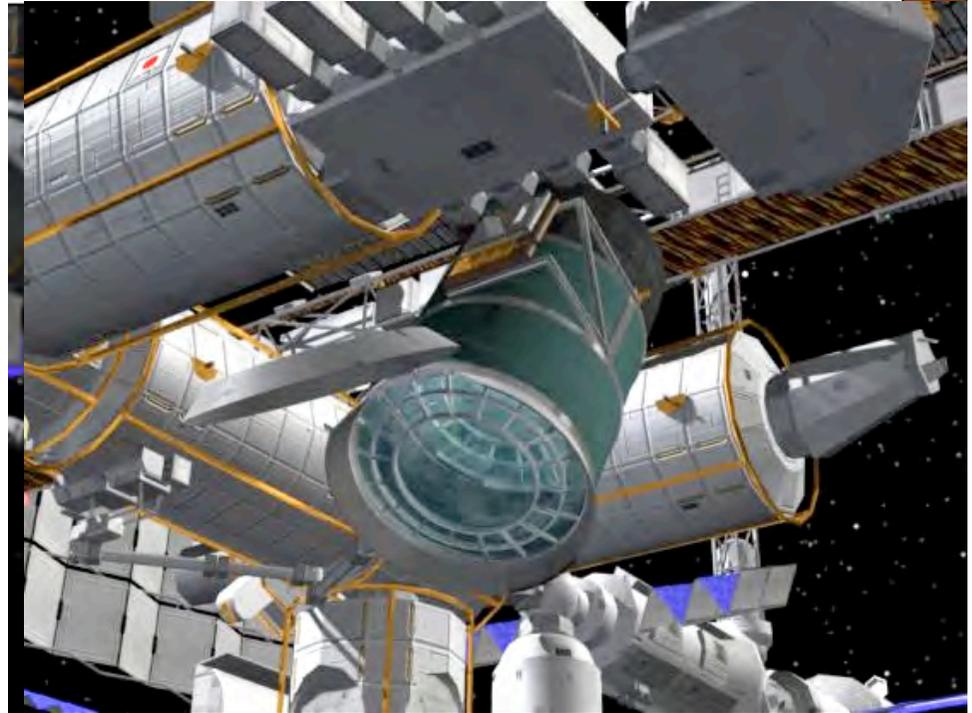
NUV Fluorescence 300 - 400 nm (+ Čerenkov)

# JEM-EUSO sur l'ISS

« mode nadir » (2 ans)

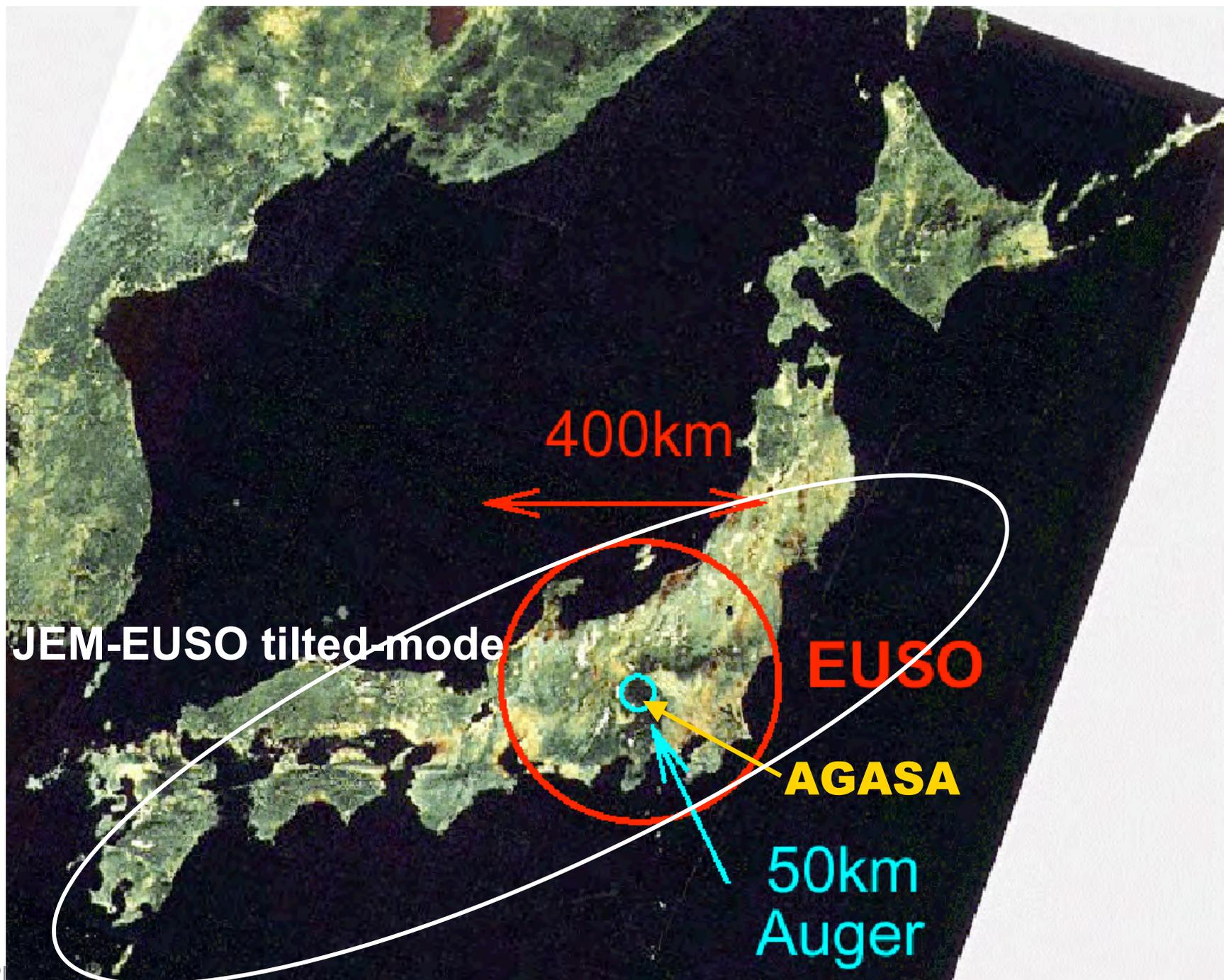


« mode tilté » (3 ans)

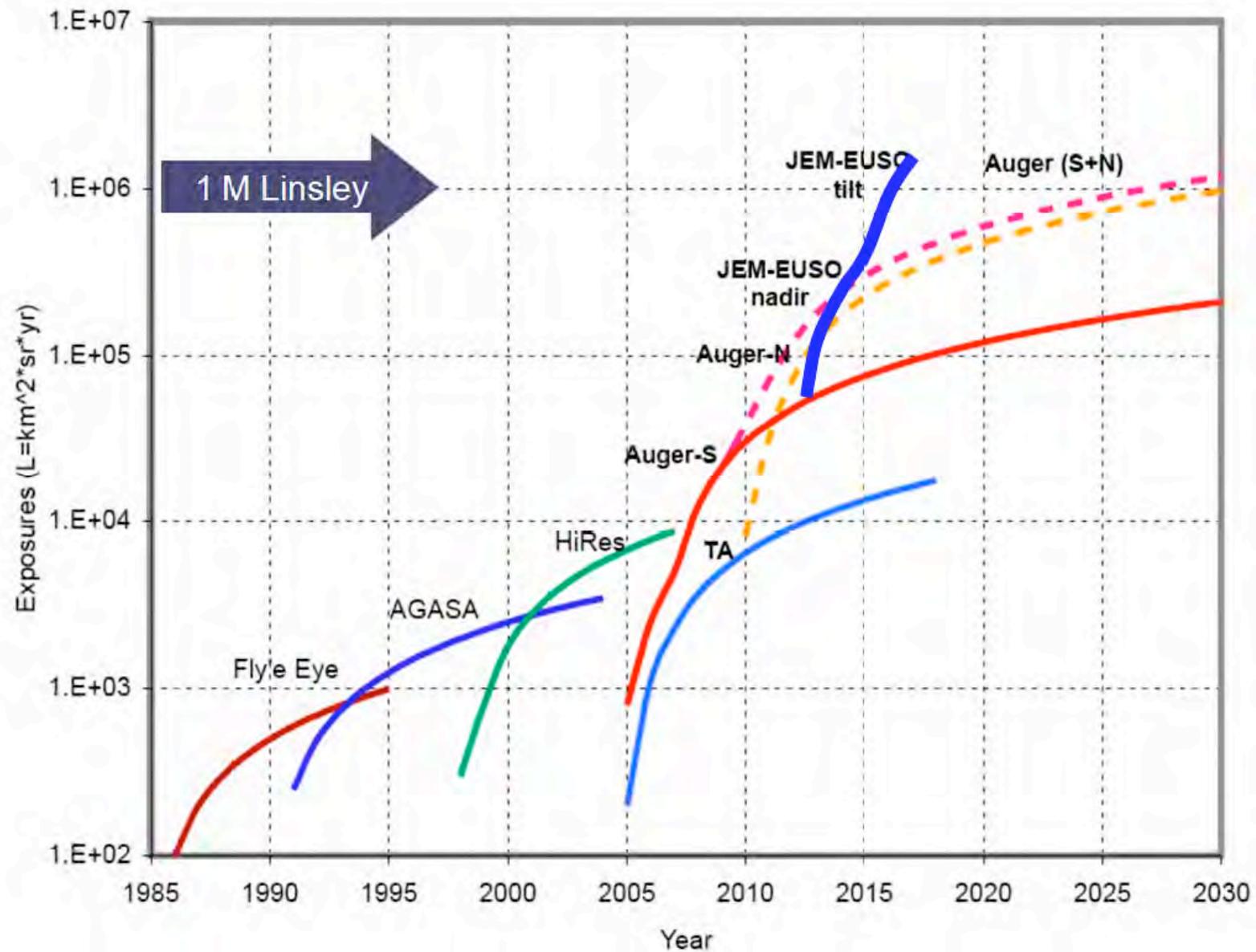


Surface de détection nominale  
énergie seuil suffisamment basse

Surface de détection accrue  
énergie seuil plus élevée

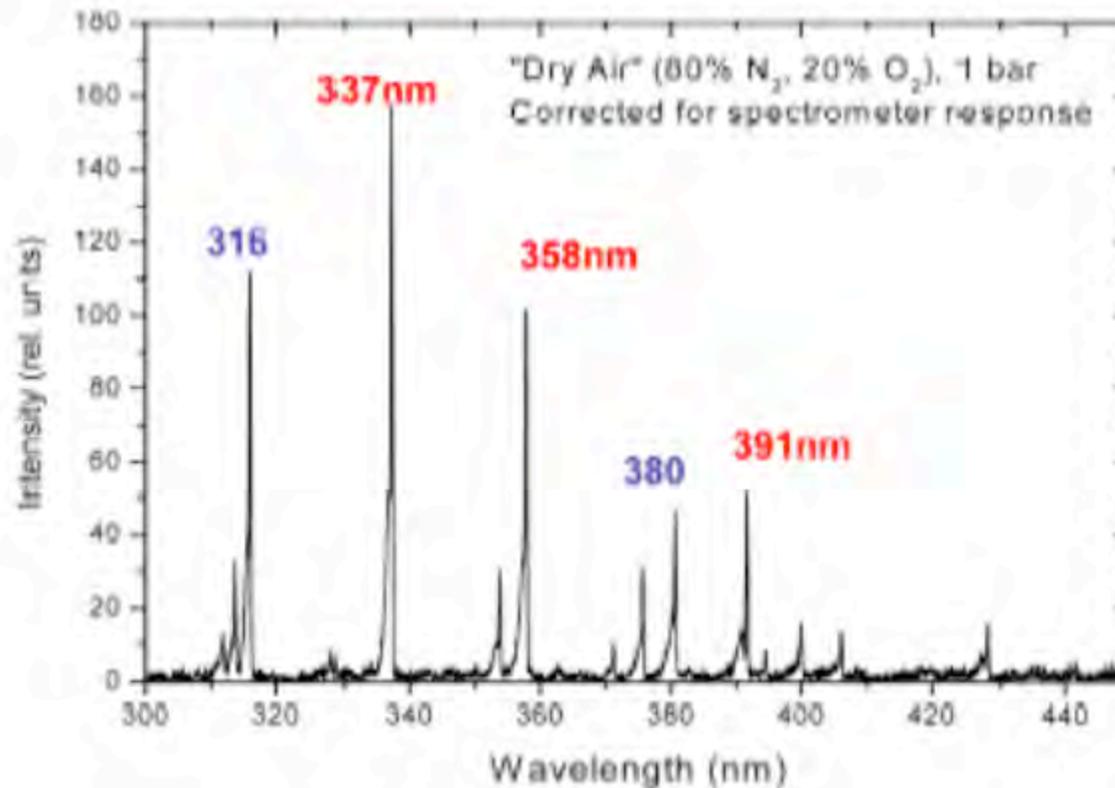


# Évolution de l'acceptance des détecteurs



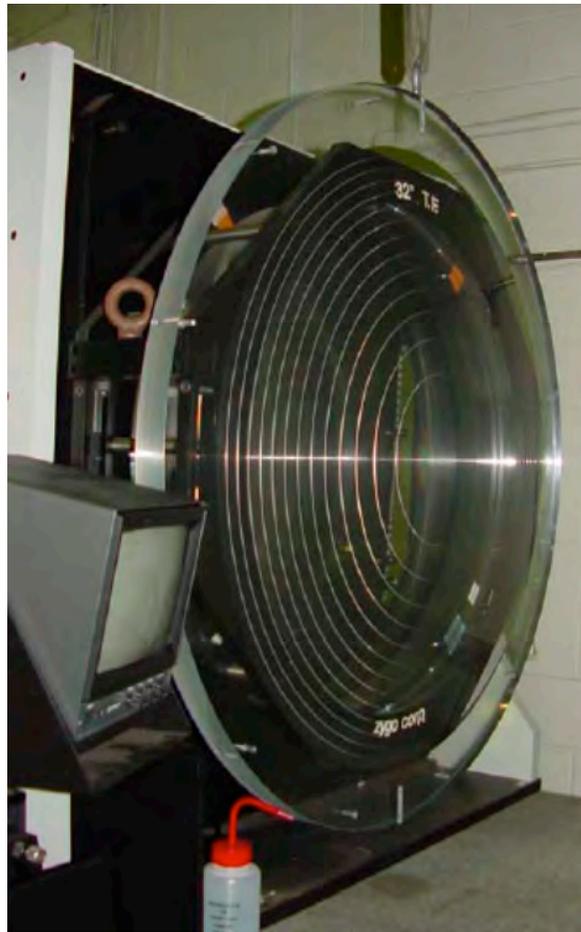
# Le concept

- Détection de la lumière de fluorescence : UV, de 300 nm à 400 nm



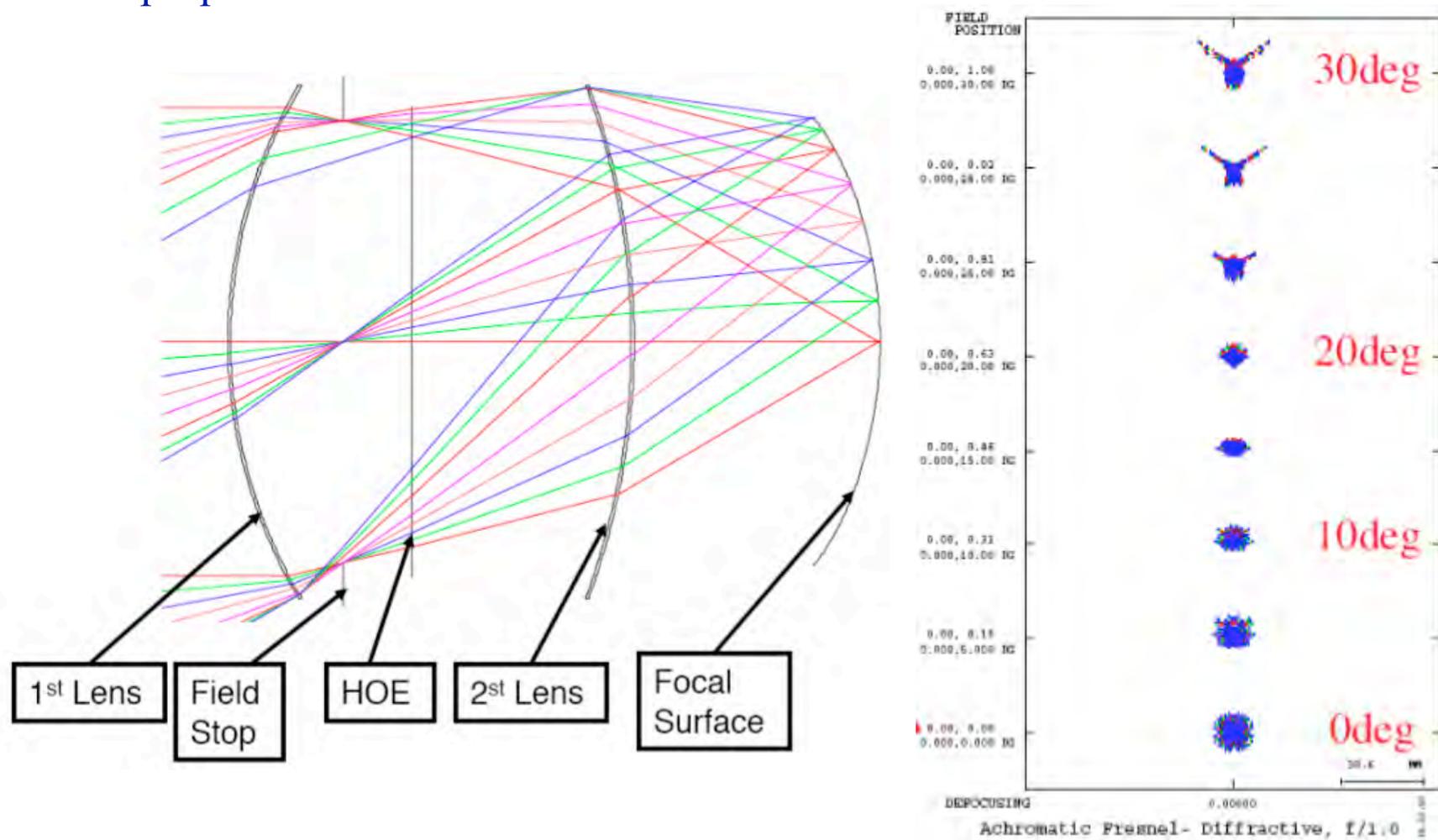
# Le concept

- Détection de la lumière de fluorescence : UV, de 300 nm à 400 nm
- Optique : lentilles de Fresnel



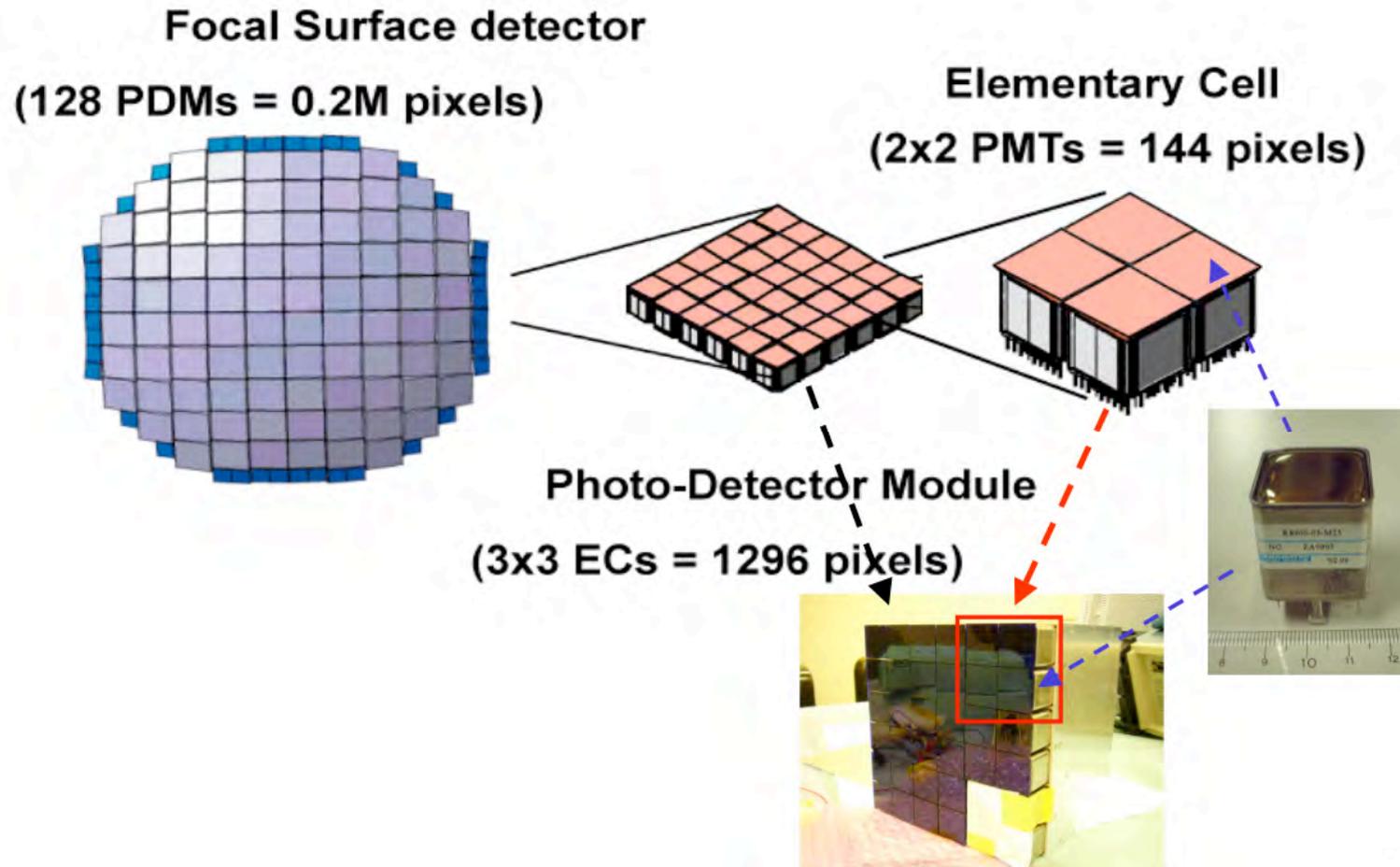
# Le concept

- Détection de la lumière de fluorescence : UV, de 300 nm à 400 nm
- Optique : lentilles de Fresnel



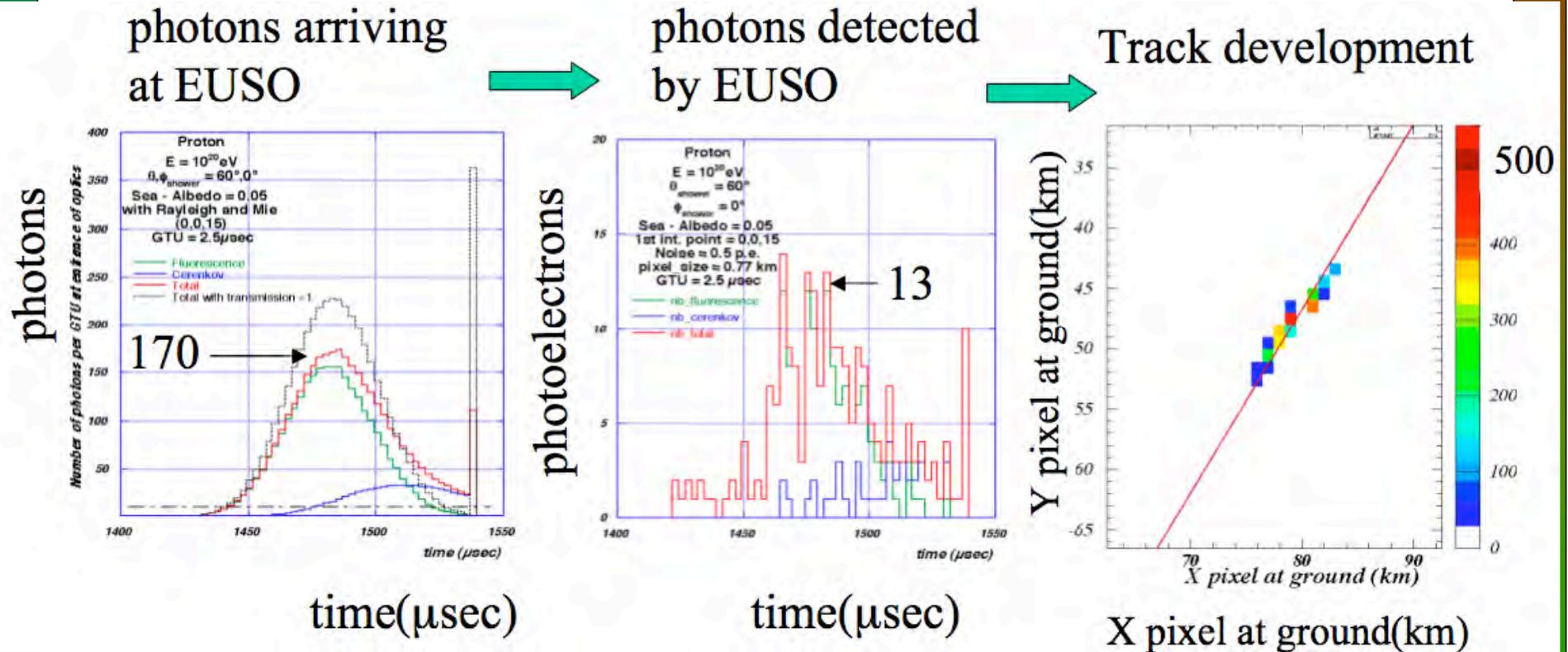
# Le concept

- Détection de la lumière de fluorescence : UV, de 300 nm à 400 nm
- Optique : lentille de Fresnel + plan focal pavé d'au moins 200 000 PMTs



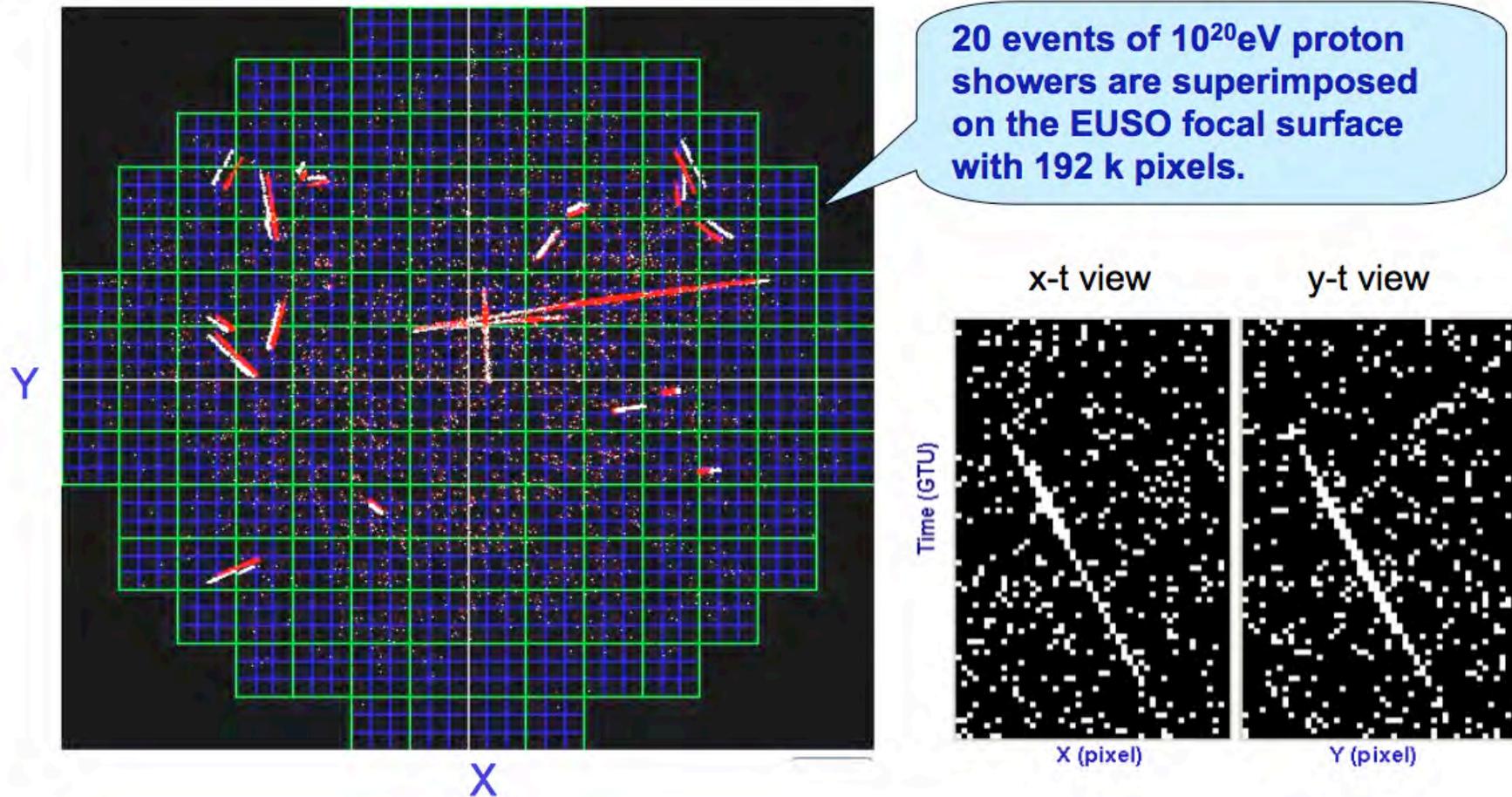
# Le concept

- Trigger : exploite les patterns spatio-temporel sur le plan focal



# Le concept

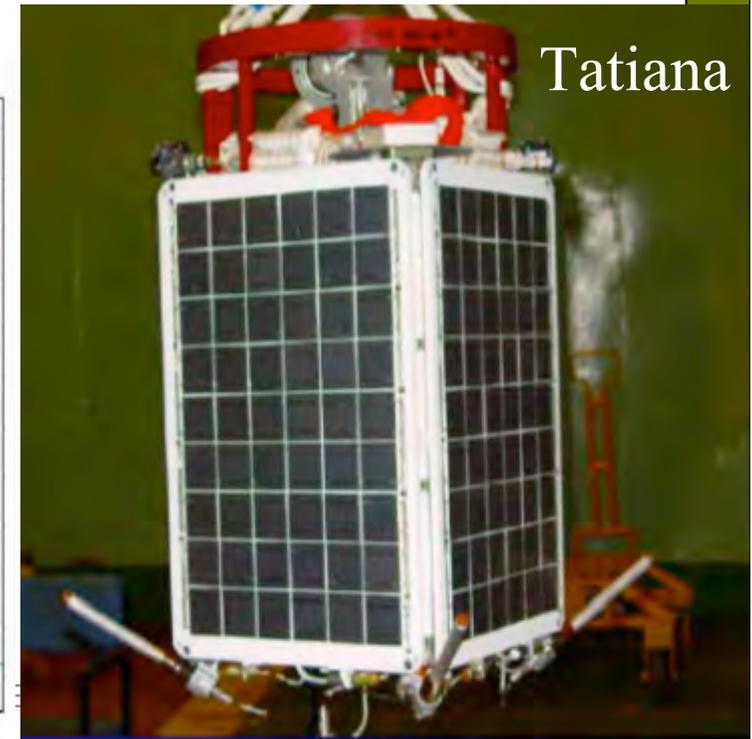
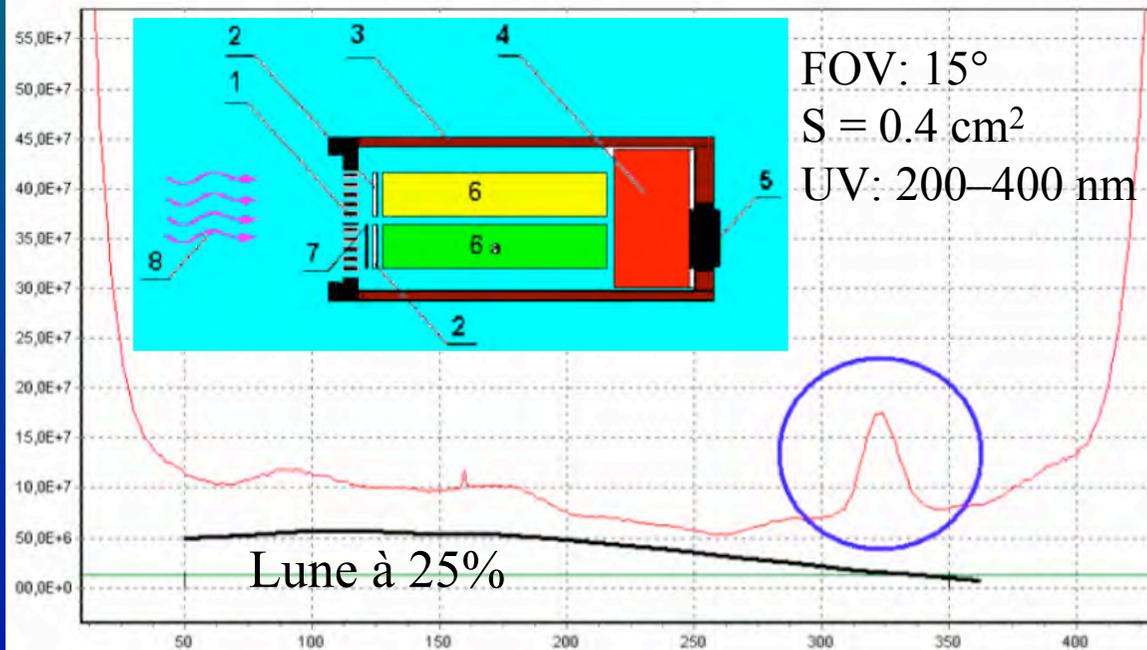
- Trigger : exploite les patterns spatio-temporel sur le plan focal



# Le bruit de fond

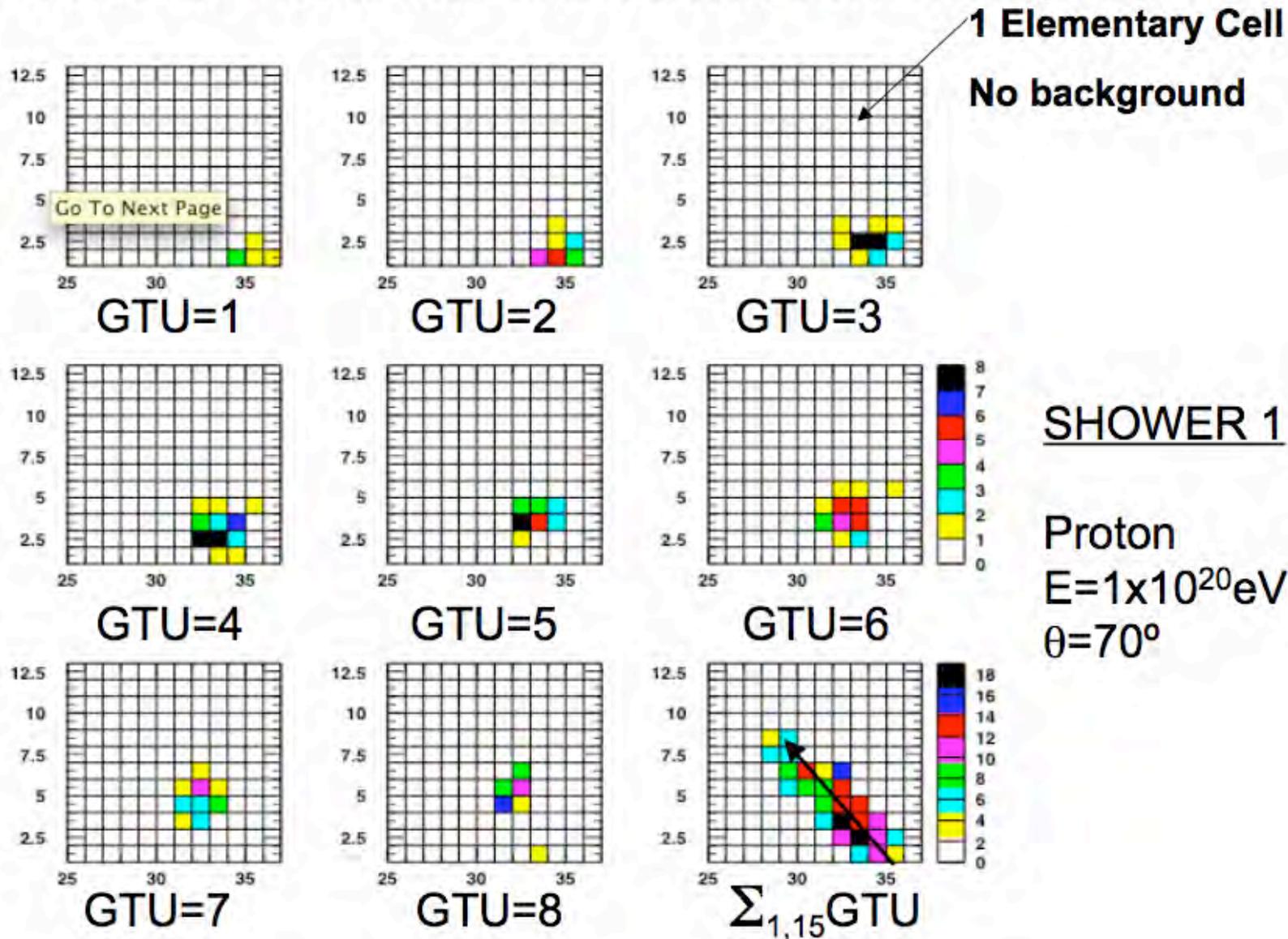


- Fonds diffus naturel du ciel (lune, étoiles, airglow...) + éclairs
- Lumières artificielles (villes, avions...)
- Phénomènes transitoires de la haute atmosphère (sprites, blue jets, elfes...)
- Fonds estimé, puis mesuré par « Tatiana » en 2005 (satellite russe)
  - ◆ nightglow : 100-500 ph/m<sup>2</sup>/ns/sr ; 1.5 fois plus s'il y a des nuages
  - ◆ airglow (~100 km d'altitude) : 250-600 ph/m<sup>2</sup>/ns/sr
  - ◆ phases de la lune < 25% : < 100 ph/m<sup>2</sup>/ns/sr



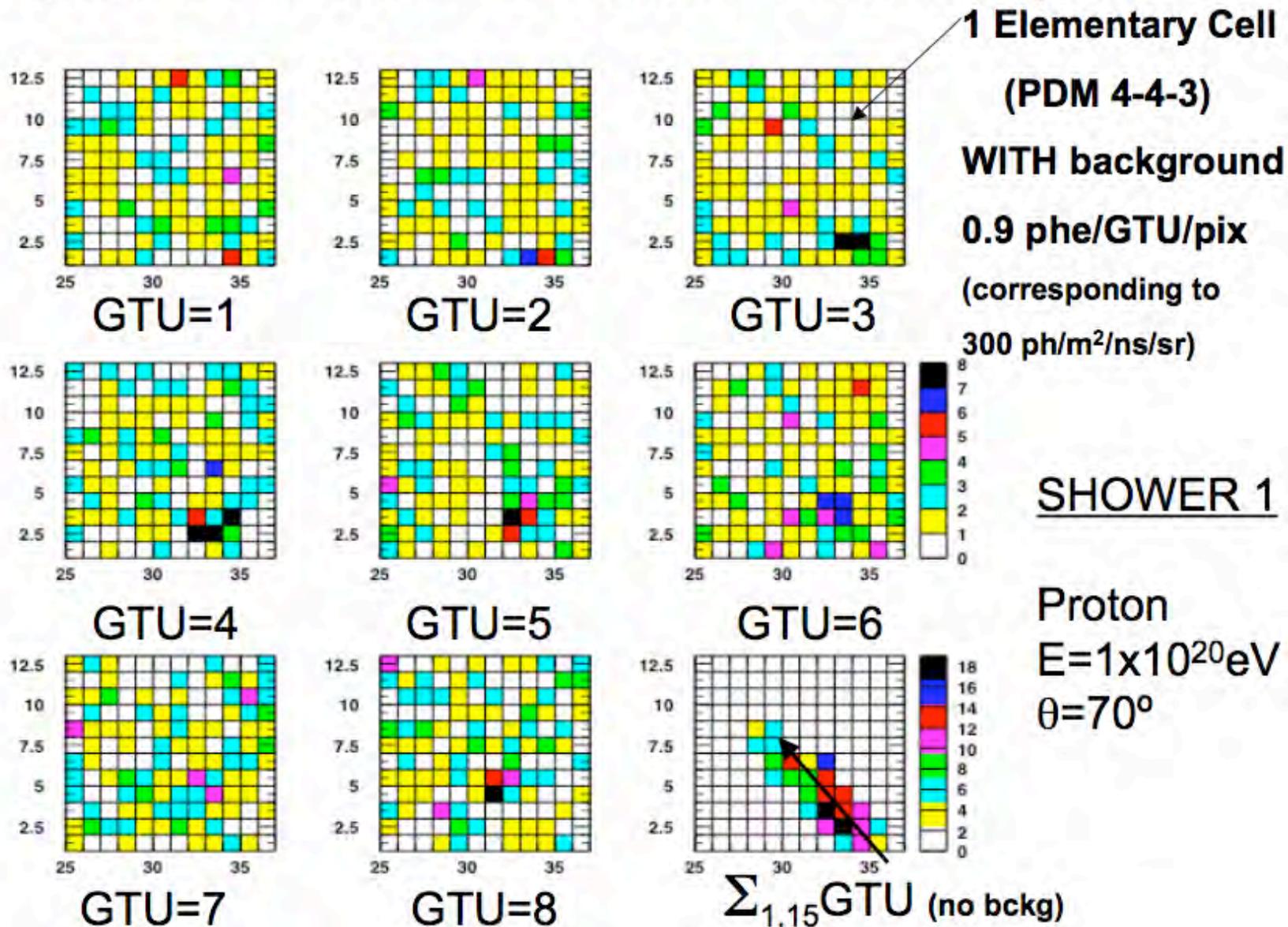
# Trigger et reconstruction

## Track of an 'horizontal' EAS track in 1 Elementary Cell



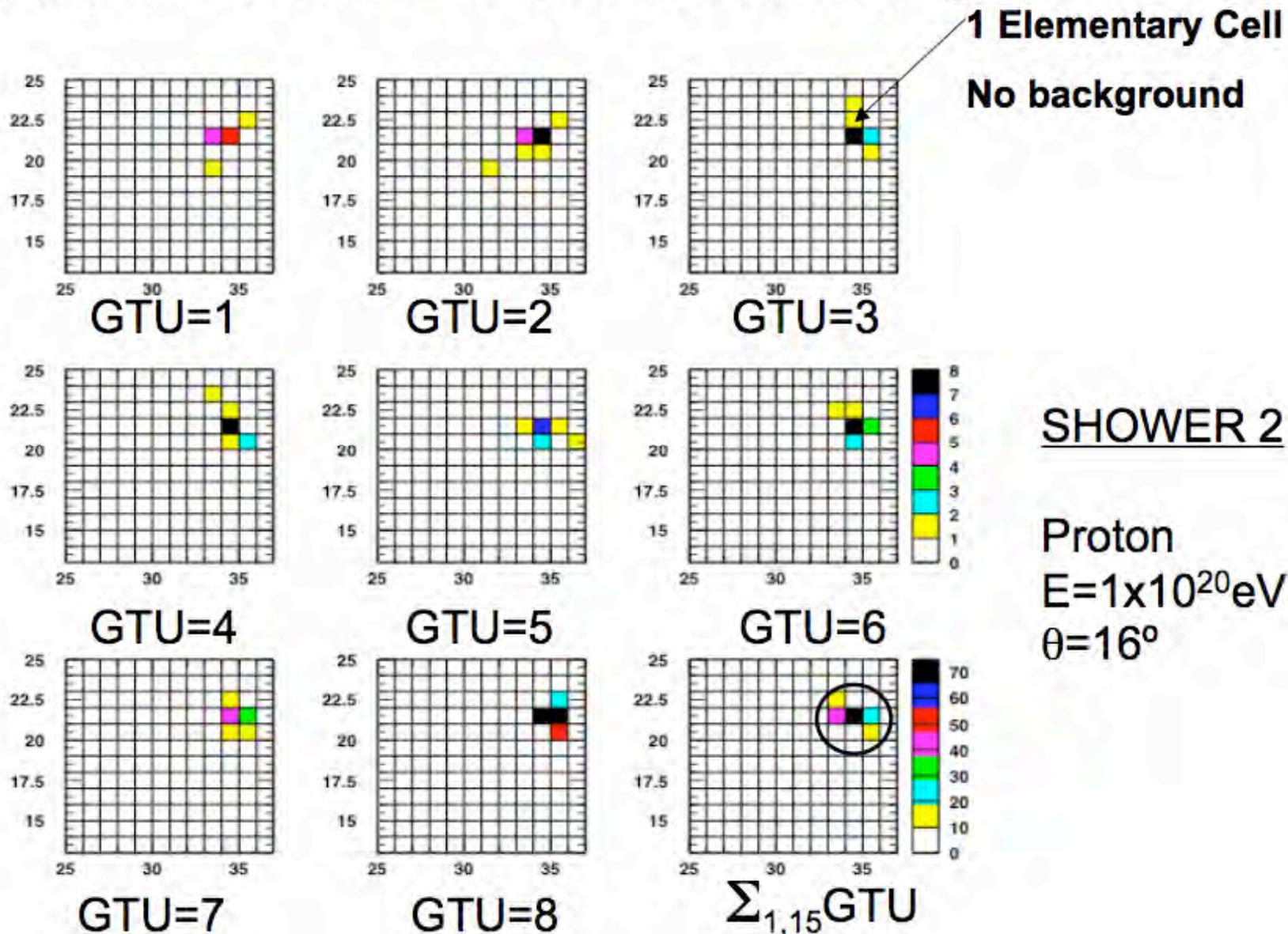
# Trigger et reconstruction

## Track of an 'horizontal' EAS track in 1 Elementary Cell



# Trigger et reconstruction

## Track of a 'vertical' EAS track in 1 Elementary Cell



# Trigger et reconstruction

Track of a 'vertical' EAS track in 1 Elementary Cell

1 Elementary Cell

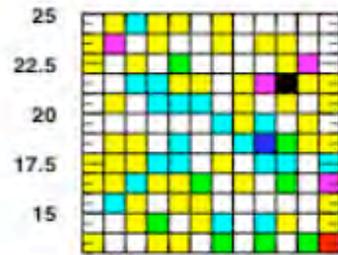
(PDM 3-1-1)

WITH background

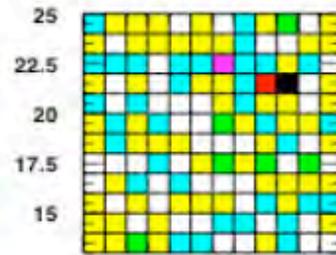
1.1 phe/GTU/pix

(corresponding to

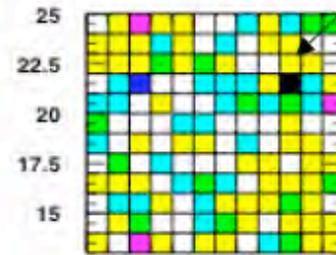
300 ph/m<sup>2</sup>/ns/sr)



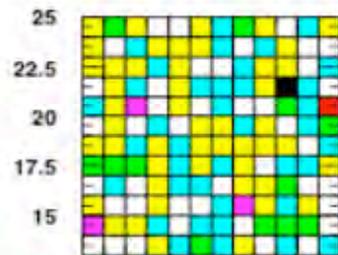
GTU=1



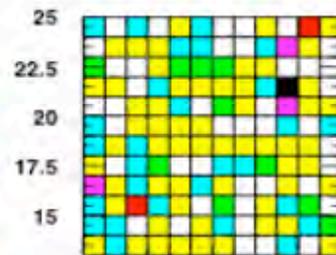
GTU=2



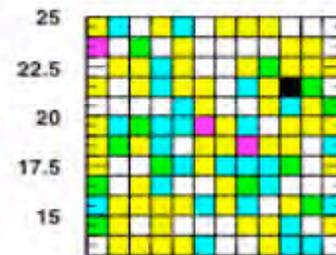
GTU=3



GTU=4



GTU=5



GTU=6

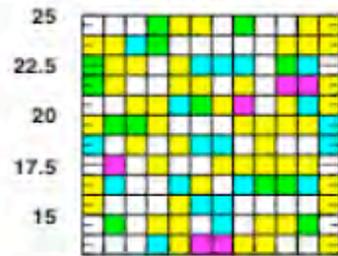


SHOWER 2

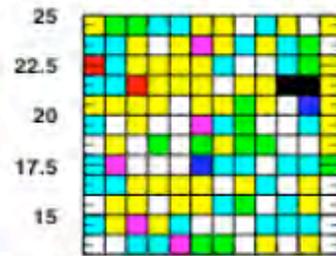
Proton

$E=1 \times 10^{20} \text{eV}$

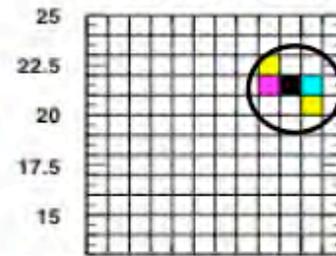
$\theta=16^\circ$



GTU=7



GTU=8

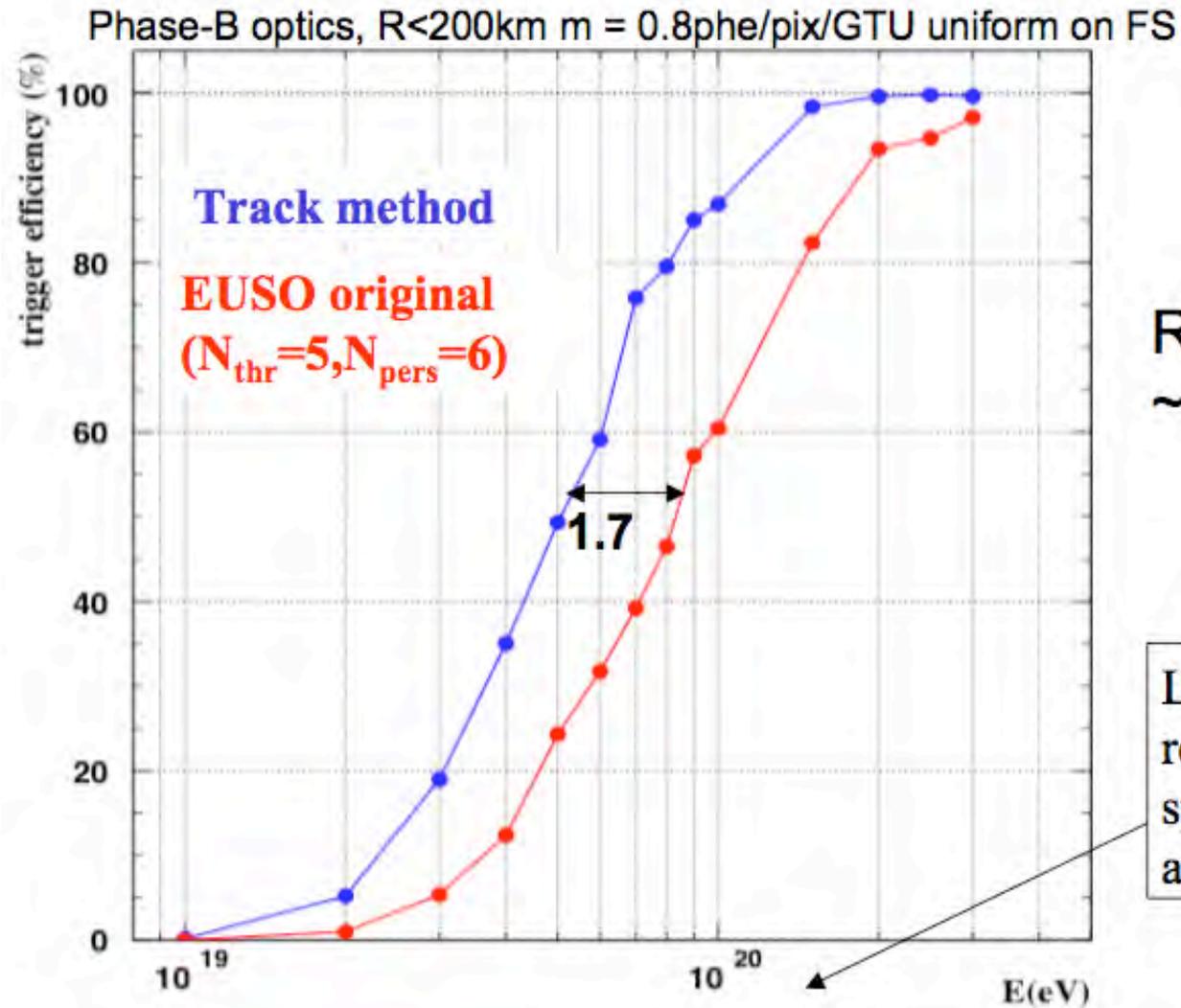


$\sum_{1,15} \text{GTU (no bckg)}$



# Performances

- Efficacité de détection



Rate of fake events  
~ 10Hz/FS

Look only at the  
relative performance,  
systematics exist in the  
absolute values of energy

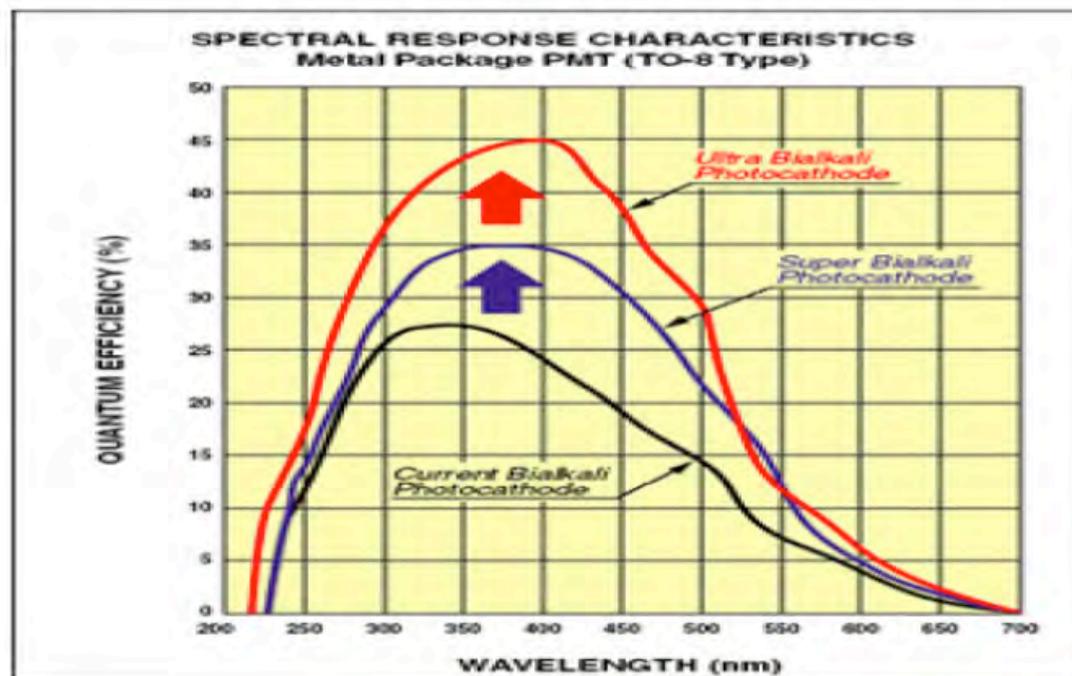
# Autres améliorations / EUSO(ESA)

- Efficacité des PMs (Hamamatsu) :  $\geq 30\%$  → gain d'un facteur 2 !
  - ⇒ amélioration du rapport signal/bruit
- Caméra infrarouge pour la mesure de la hauteur des nuages
  - ⇒ Température mesurée à  $\pm 3\text{K}$  → hauteur des nuages à 200 mètres près
- LIDAR simplifié : peu massif, rapide et à faible consommation !
- Puissance disponible supérieure → ordinateur à bord
- Filtres adaptés aux raies de fluorescence ? → gain sur  $\Sigma/N$  d'un facteur 2 !
- Emploi de CYTOP au lieu de PMMA pour les lentilles !
  - ⇒ meilleure transmittance
  - ⇒ dispersion plus faible → plus grande précision dans le plan focal
    - gain d'un facteur 4 ! → meilleur rapport signal/bruit
  - ⇒ augmenter le nombre de pixels ?

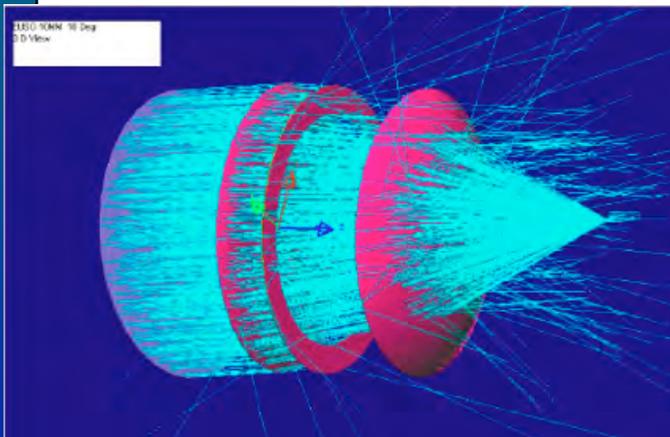
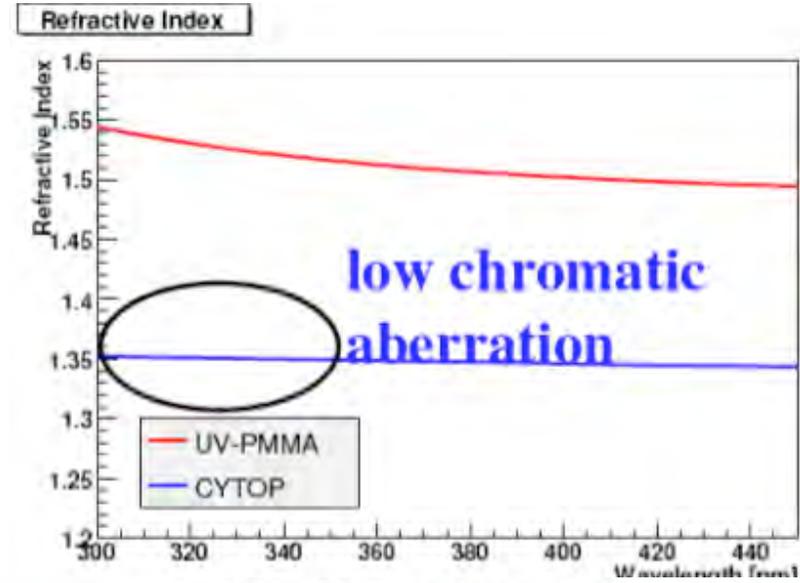
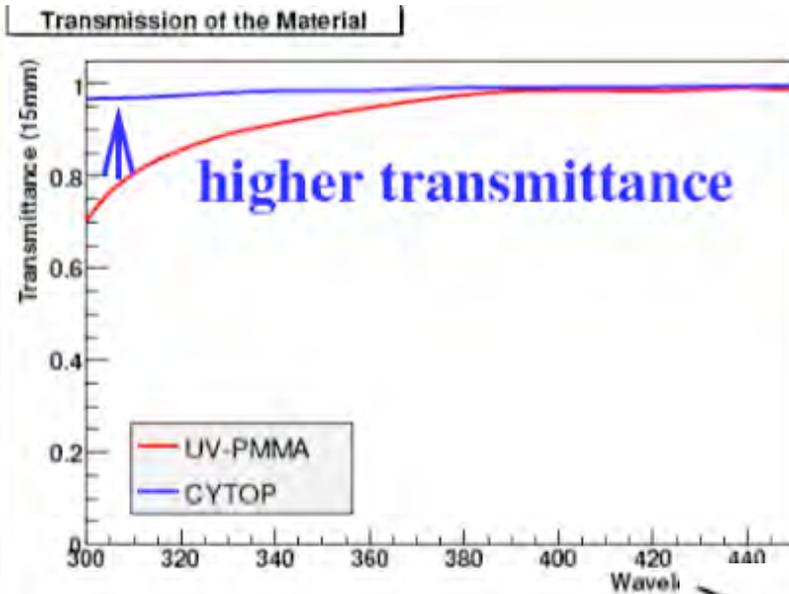
# Efficacité quantique des PMT

## Recent News from Hamamatsu

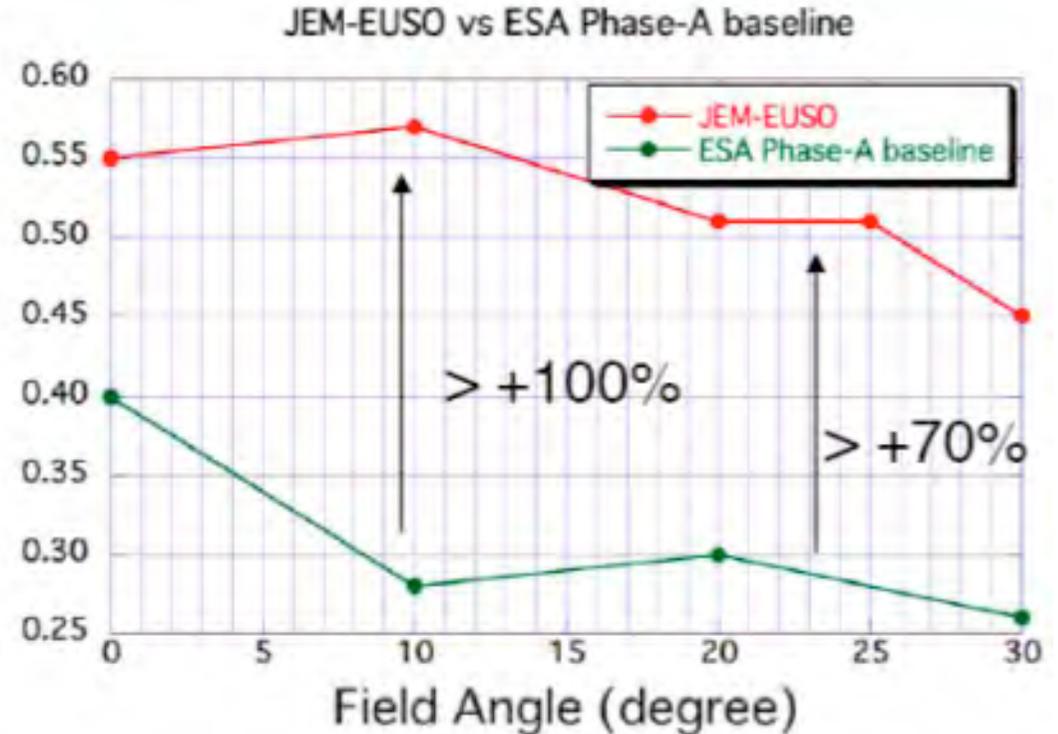
Photocathode	QE at peak wavelength		Type Availability
	Min.	Typ.	
Ultra Bialkali (UBA)	38%	43%	Metal Package PMT (TO-8 Type, 28 mm Type)
Super Bialkali (SBA)	32%	35%	Metal Package PMT (TO-8 Type, 28 mm Type) ø28 mm to ø76 mm Head-on PMT (Glass Bulb)



# Lentilles en CYTOP (vs PPMA)

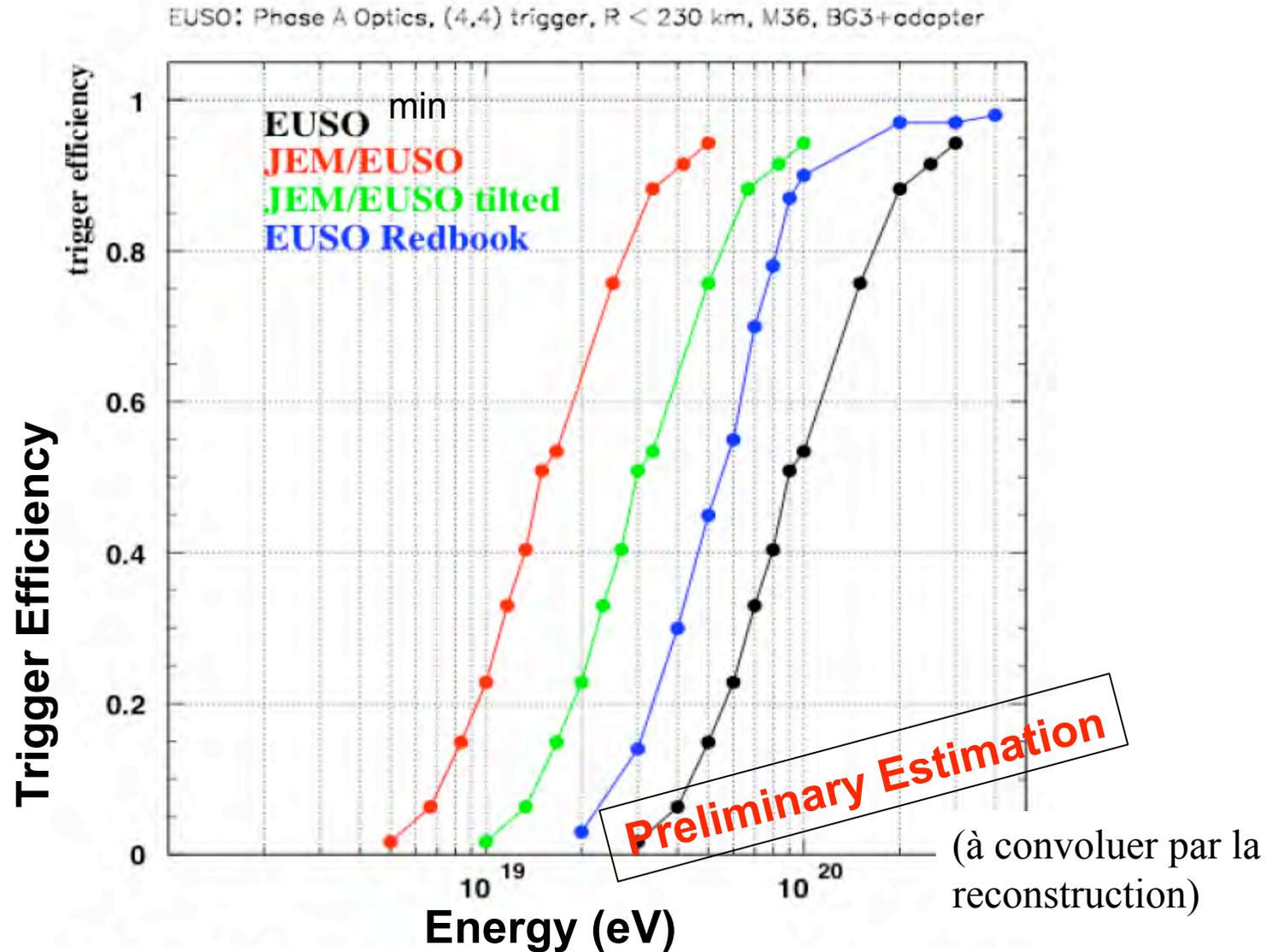


Optics Throughput Efficiency



# Performances

- Efficacité de détection



# Mission et Programmatique

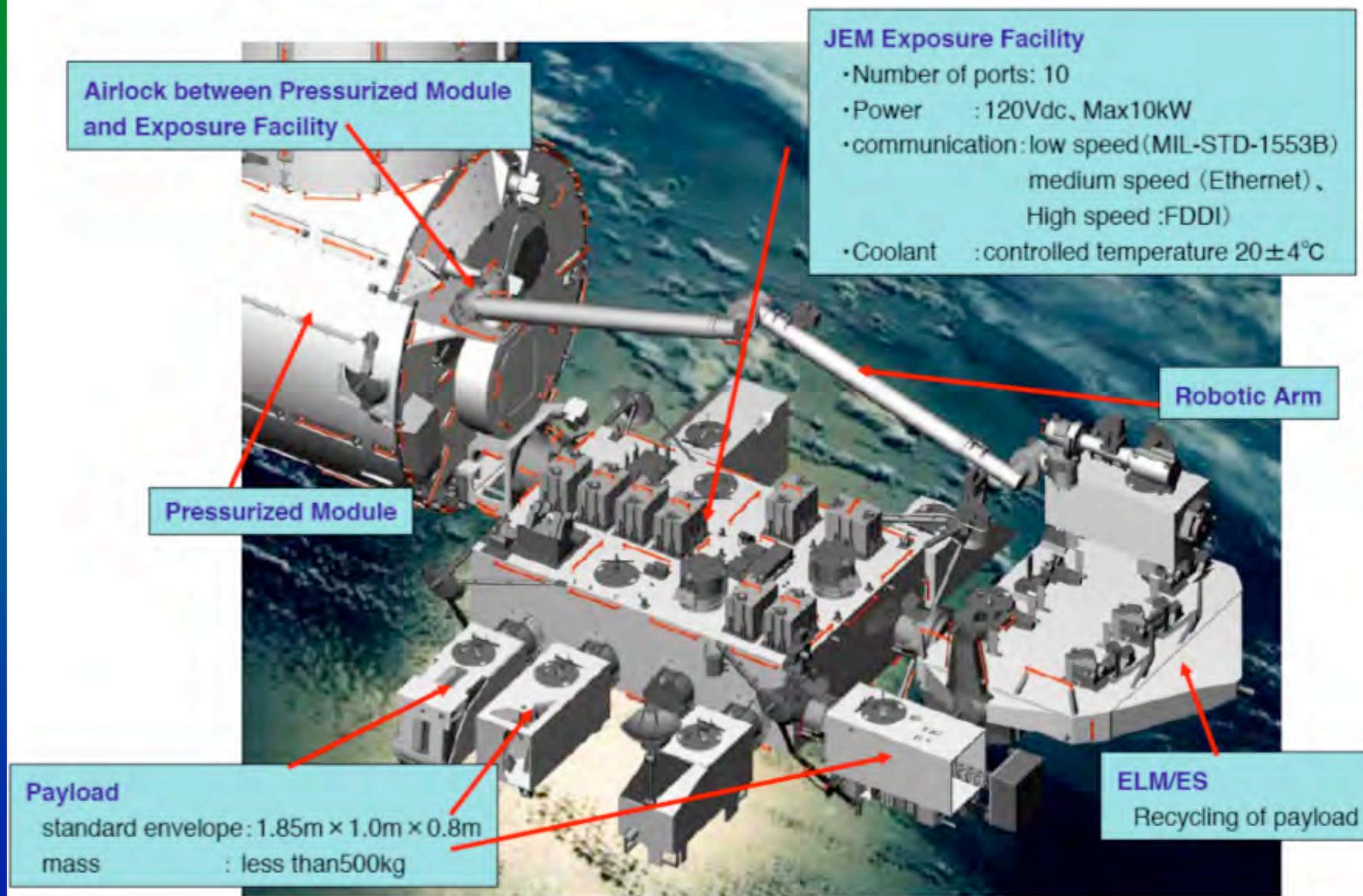


**H-IIIB & HTV**



**JEM EF (exposed facility)**

# Mission et Programmatique

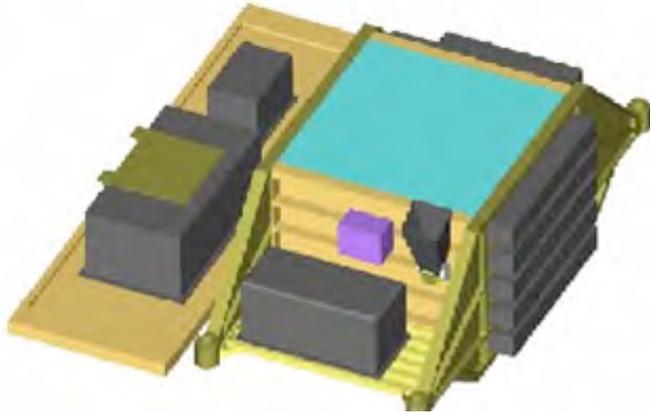


# Mission et Programmatique



# Mission et Programmatique

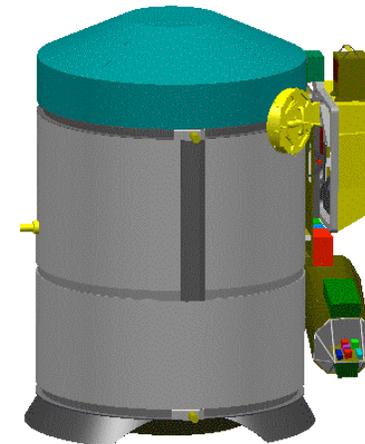
- Payload majeur pour 2013: deux candidats → plus qu'un ?



Calorimetric Electron Telescope (CALET)

- ◆ International Cooperation Mission
- ◆ Ultra Violet Telescope
- ◆ Scientific Objectives
  - Survey of EECR (extreme-energy cosmic rays)
    - induced extensive air showers
  - Investigate the origin of EECRs

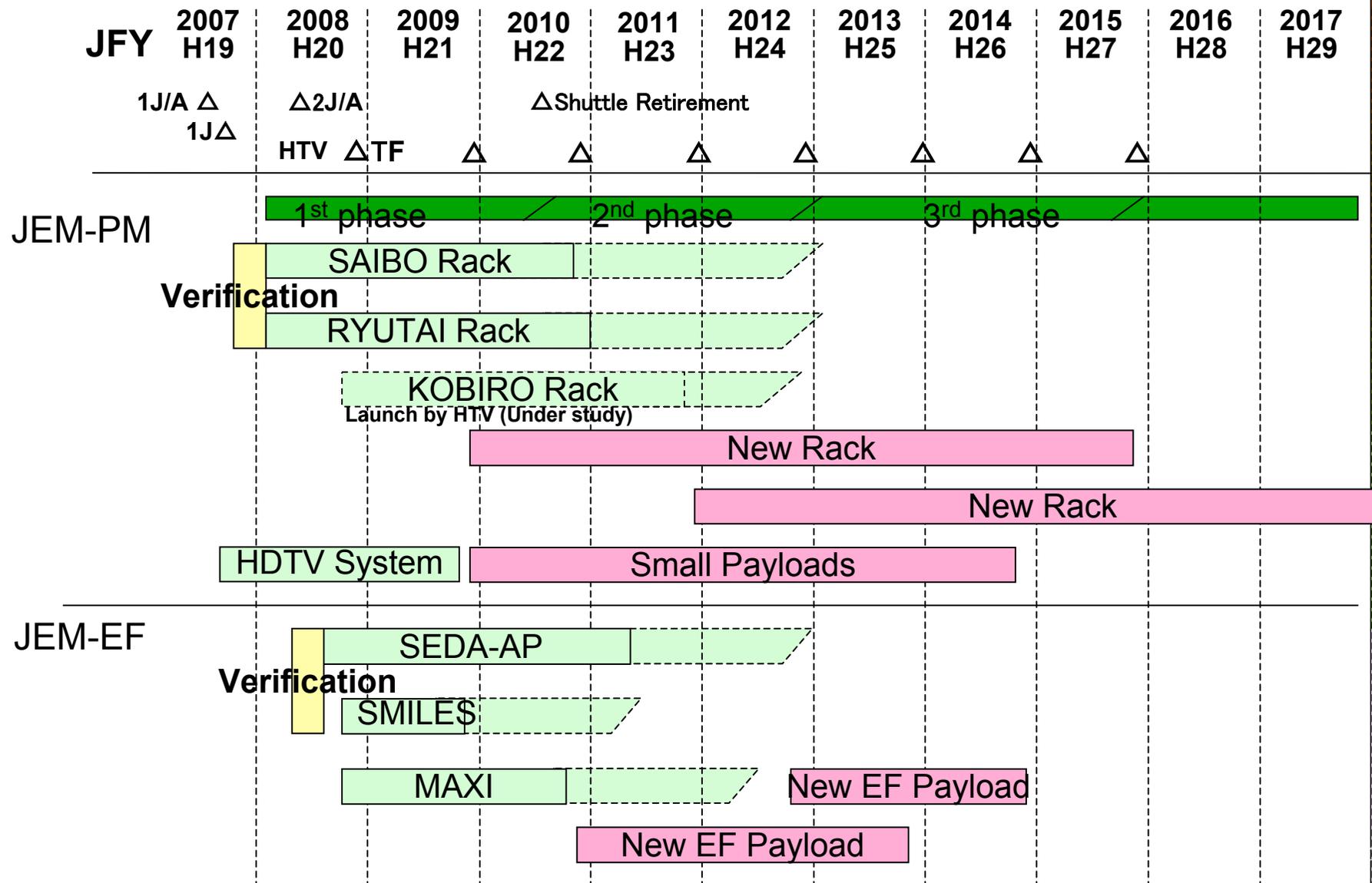
- ◆ International Cooperation Mission
- ◆ High Energy Electron and Gamma-Ray Telescope
- ◆ Scientific Objectives
  - Detection of Nearby Electron Sources
  - Exploration of Cosmic Gamma-Ray Sources



Extreme Universe Space Observatory (EUSO)

# Mission et Programmatique

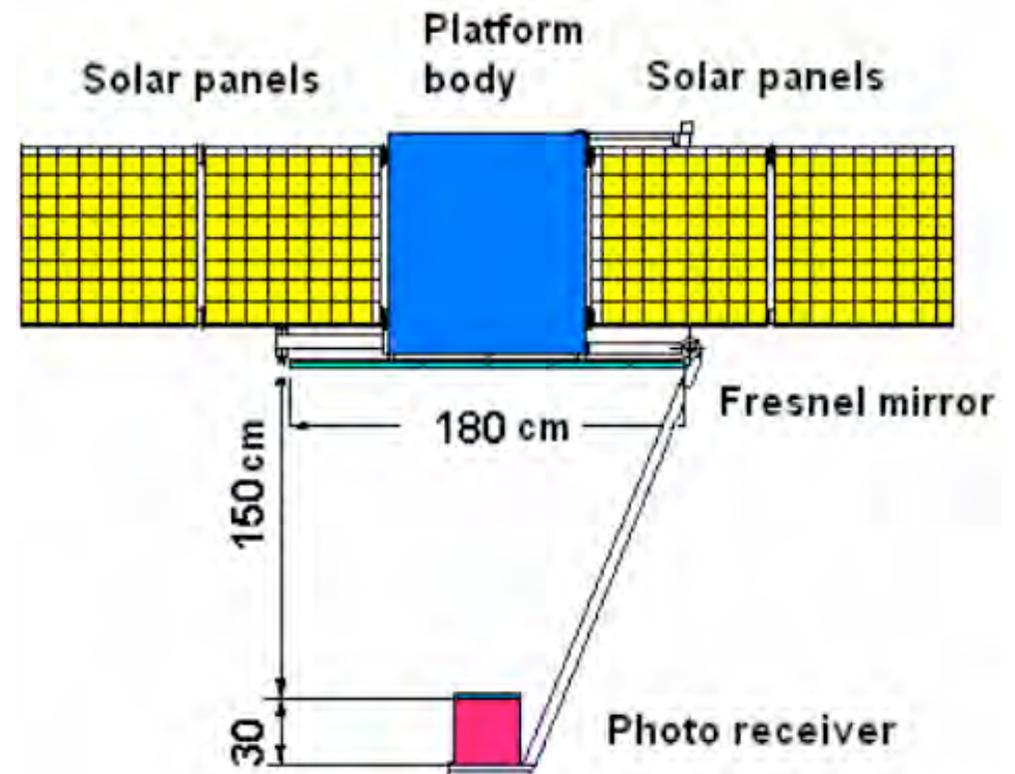
## Resources of the 2<sup>nd</sup> phase JEM utilization (under study)



# NB: synergie avec TUS et S-EUSO...

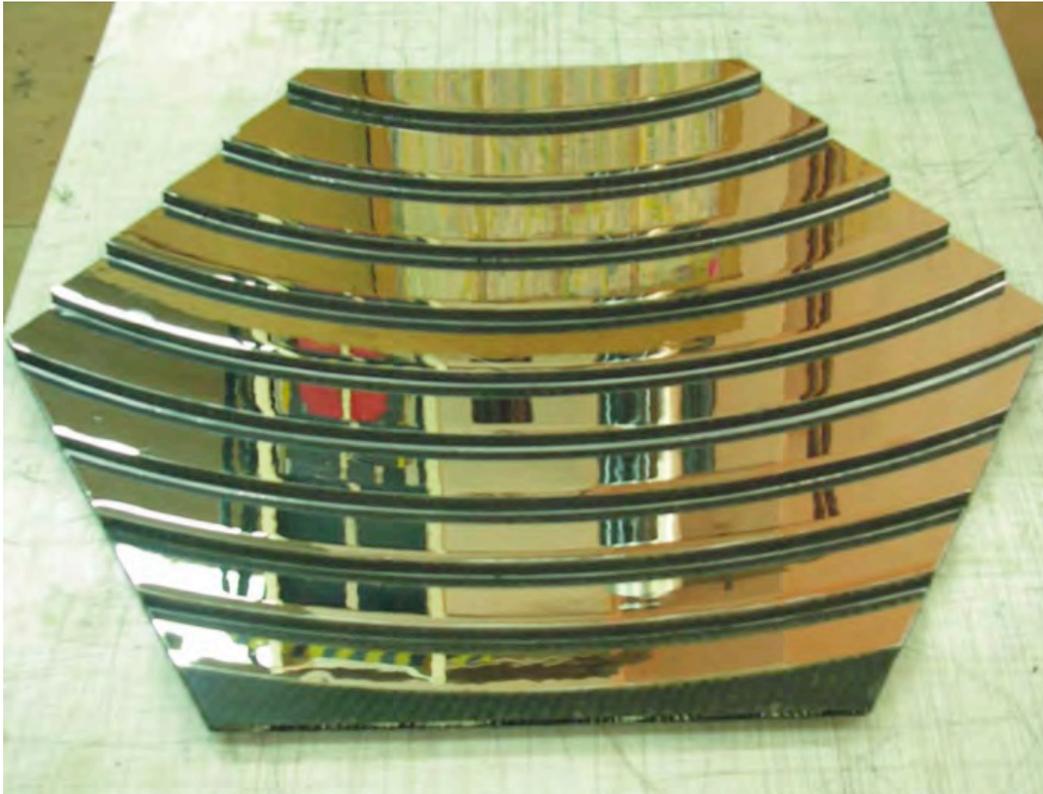
- Les russes ont leur programme et participent à JEM-EUSO

TUS: lancement 2010

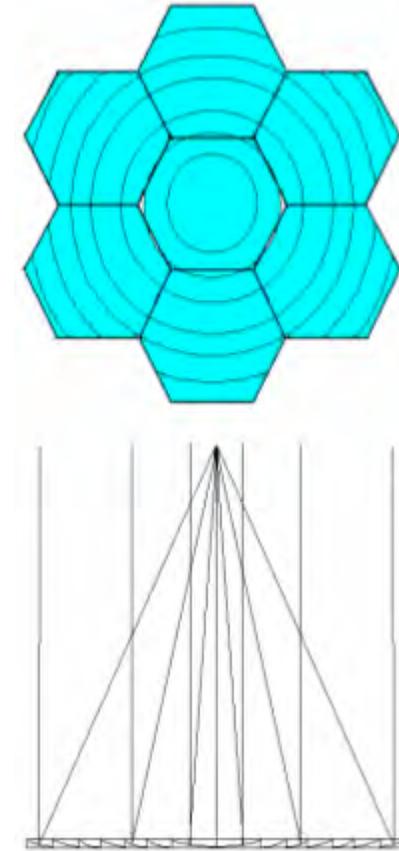


# NB: synergie avec TUS et S-EUSO...

- Les russes ont leur programme et participent à JEM-EUSO



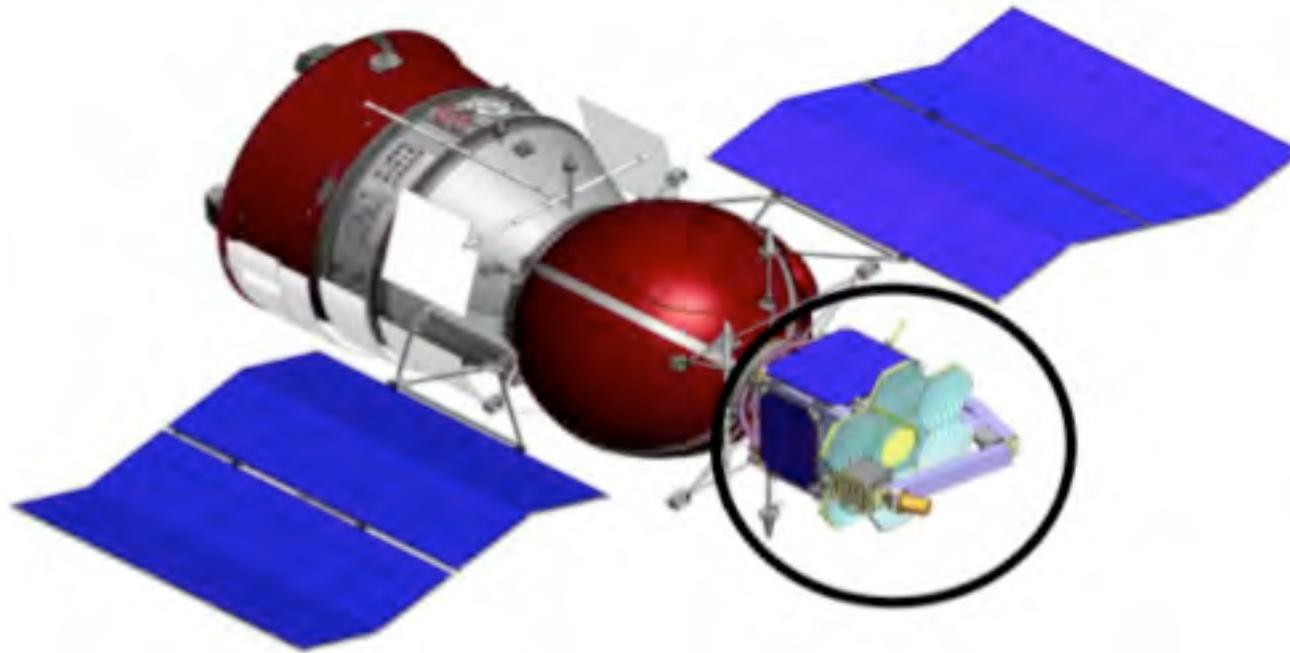
Miroir de Fresnel



## NB: synergie avec TUS et S-EUSO...

- Les russes ont leur programme et participent à JEM-EUSO

KLYPVE : free-flyer...



cf. S-EUSO (ESA cosmic vision)

# Executive summary

## Scientific Objectives

- Main Objectives : Astronomy and astrophysics through particle channel with extreme energies above  $10^{20}$  eV
  - Identification of sources by the high-statistics arrival direction analysis
  - Measurement of the energy spectra from individual sources to constrain acceleration or emission mechanisms
- Exploratory Objectives
  - Detection of extreme energy gamma-rays
  - Detection of extreme energy neutrinos
  - Study of the Galactic magnetic field
  - Verification of the relativity and the quantum gravity effect in extreme energy
  - Global observations of nightglows, plasma discharges and lightning

À amender...

Points principaux :

Auger a montré qu'il y avait des sources astro. proches et que le ciel était anisotrope

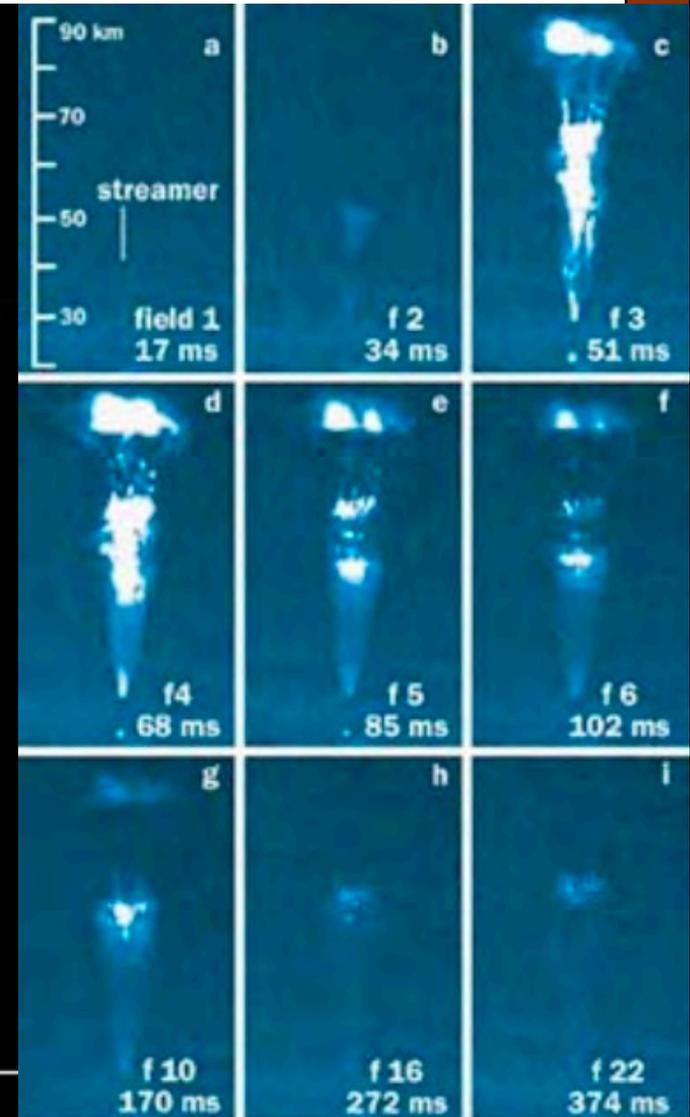
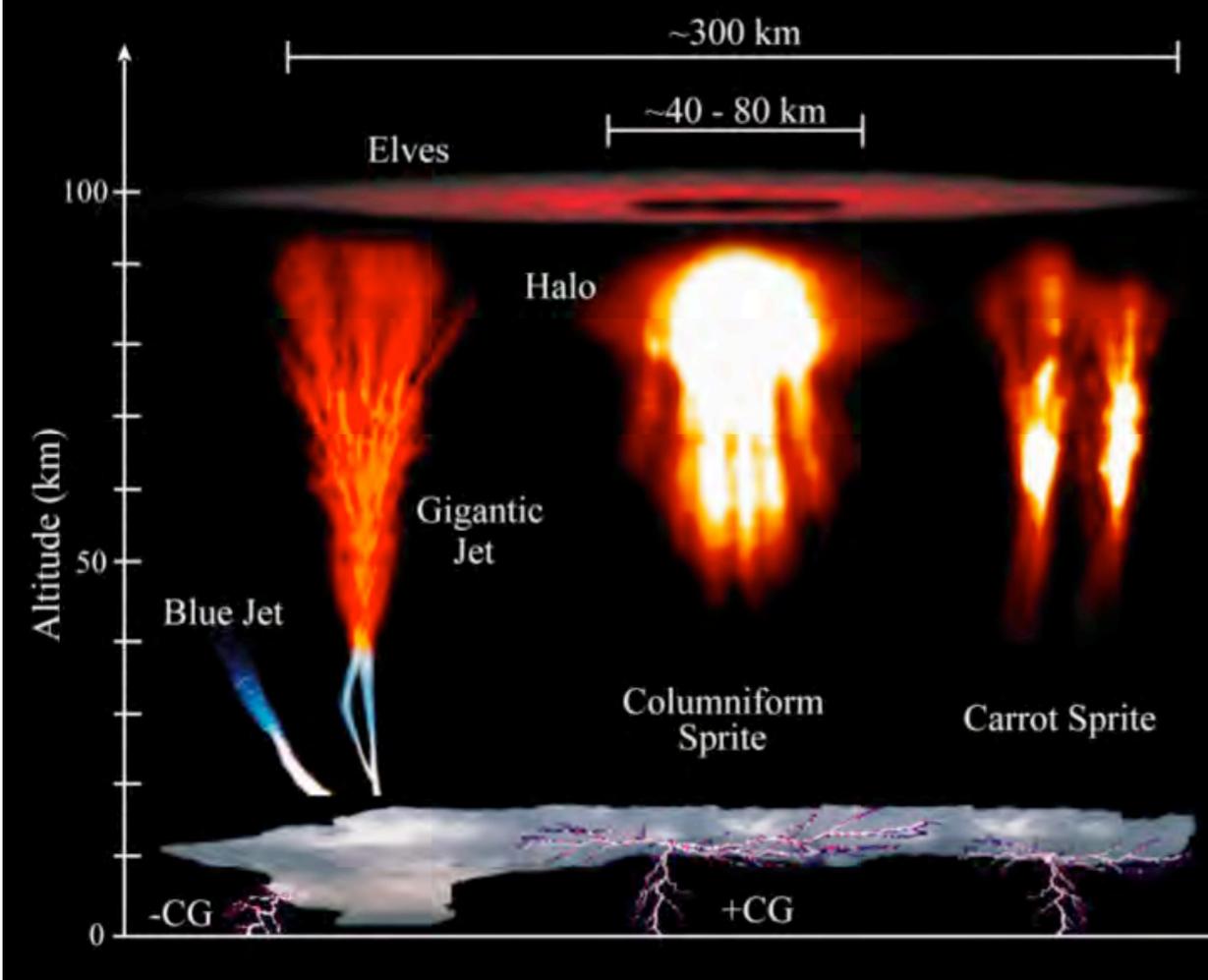
Mettre en œuvre l'astronomie RC → gagner 1 ordre de grandeur en acceptance pour changer d'ère et étudier les sources individuellement !

Physique à très haute énergie (gerbes et propagation)

+ phénomènes transitoires ionosphériques !

# Phénomènes ionosphériques

## Transient Luminous Events (TLEs)



# Executive summary

## Parameters of Instruments

- Field of View:  $\pm 30^\circ$
- Aperture Area:  $4.5\text{m}^2$
- Optical bandwidth: 330 – 400nm
- Angular Resolution:  $0.1^\circ$
- Pixel Size: 4.5mm
- Number of Pixels:  $\sim 2.0 \times 10^5$
- Pixel Size at ground: 750m
- Duty Cycle:  $\sim 20\%$
- Observational Area:  $1.9 \times 10^5 \text{km}^2$

## Parameters of Mission

- Time of launch: year 2013
- Operation Period: 3 years (+ 2 years)
- Launching Rocket : H2B
- Transportation to ISS: non pressurized Carrier of H2 Transfer vehicle
- Site to Attach: Japanese Experiment Module/ Exposure Facility #2
- Mass: 1880 kg
- Power: 998 (operative), 424 W (non-operative)
- Data Transfer Rate: 297 kpbs
- Height of the Orbit:  $\sim 430\text{km}$
- Inclination of the Orbit:  $51.6^\circ$

# March 2008 : 10 countries; 51 institutions; ~130 scientists



- **Japan** : T. Ebisuzaki, Y. Uehara, H. Ohmori, Y. Kawasaki, M. Sato, Y. Takizawa, K. Katahira, S. Wada, K. Kawai, H. Mase (*RIKEN*), F. Kajino, M. Sakata, H. Sato, Y. Yamamoto, T. Yamamoto, N. Ebizuka, (*Konan Univ.*), M. Nagano, Y. Miyazaki (*Fukui Inst. Tech.*), N. Sakaki, T. Shibata (*Aoyama Gakuin Univ.*), N. Inoue (*Saitama Univ.*), Y. Uchihori (*NIRS*), K. Nomoto (*Univ. of Tokyo*), Y. Takahashi (*Tohoku Univ.*), M. Takeda (*ICRR, Univ. Tokyo*), Y. Arai, Y. Kurihara, H.M. Shimizu, J. Fujimoto (*KEK*), S. Yoshida, K. Mase (*Chiba Univ.*), K. Asano, S. Inoue, Y. Mizumoto, J. Watanabe, T. Kajino (*NAOJ*), H. Ikeda, M. Suzuki, T. Yano (*ISAS, JAXA*), T. Murakami, D. Yonetoku (*Kanazawa Univ.*), T. Sugiyama (*Nagoya*), Y. Ito (*STEL, Nagoya Univ.*), S. Nagataki (*YITP, Kyoto Univ.*), A. Saito (*Kyoto Univ.*), S. Abe, M. Nagata (*Kobe Univ.*), T. Tajima (*KPSI, JAEA*), M. Chikawa (*Kinki Univ.*), and M. Tajima (*Hiroshima Univ.*)



- **USA** : J. H. Adams Jr., S. Mitchell, M.J. Christl, J. Watts Jr., A. English, R. Young (*NASA/MSFC*), Y. Takahashi, D. Gregory, M. Bonamente, K. Pitalo, J. Hadaway, J. Geary, R. Lindquist, P. Reardon T. Blackwell (*Univ. Alabama in Huntsville*), H. Crawford, E. Judd, C. Pennypacker (*LBL, UC Berkeley*), K. Arisaka, D. Cline, J. Kolonko, V. Andreev (*UCLA*), A. Berlind, T. Weiler, S. Csorna (*Vanderbilt Univ.*), R. Chipman, S. McClain (*Arizona*)



- **France** : D. Allard, J-N. Capdevielle, J. Dolbeau, P. Gorodetzky, J.J. Jaeger, E. Parizot, T. Patzak, D. Semikoz, J. Weisbard (*APC-Paris 7*)



- **Germany** : M. Teshima, T. Schweizer (*Max Planck Munich*), A. Santangelo, E. Kendziorra, F. Fenu (*Univ. Tuebingen*), P. Biermann (*MPI Bonn*), K. Mannheim (*Wuerzburg*), J. Wilms (*Univ. Erlangen*)



- **Italy** : M. Focardi, E. Pacce, P. Spillantini (*Univ. Firenze*), V. Bratina, L. Gambicorti, A. Zuccaro (*CNR-INOVA, Firenze*), A. Anzalone, O. Catalano, M.C. Maccarone, P. Scarsi, B. Sacco, G. LaRosa (*IAS-PA/INAF*), G. D'Alì Saiti, D. Tegolo (*U. Palermo*), R. Battiston (*Perugia*), M. Casolino, M.P. De Pascale, A. Morselli, P. Picozza, R. Sparvoli (*INFN and Univ. Rome "Tor Vergata"*), P. Vallania (*INAF-IFSI Torino*), P. Galleotti, C. Vigorito, M. Bertaina (*Univ. Torino*), G. Osteria, D. Campana, G. De Rosa, M. Ambrosio, C. Aramo (*INFN, Naples*), S. Russo, D. D'urso, F. Guarino (*Federico II" di Napoli*)



- **Mexico** : G. Medina-Tanco, J.C. D'Olivo, J.F. Valdes (*Mexico UNAM*), H. Salazar, O. Martinez (*BUAP*), L. Villasenor (*UMSNH*)



- **Republic of Korea** : S. Nam, I. H. Park, J. Yang (*Ehwa W. Univ.*)



- **Russia** : Garipov G.K., Khrenov, B.A., Klimov P.A. Panasyuk M.I., Yashin I.V. (*SINP MSU*), D. Naumov, Tkachev. L (*Dubna JINR*)



- **Switzerland** : A. Maurissen, V. Mitev (*Neuchatel, Switzerland*)



- **Spain** : D. Rodriguez-Frias, L. Peral, J. Gutierrez, R. Gomez-Herrero (*Univ. Alcalá*)

À suivre...