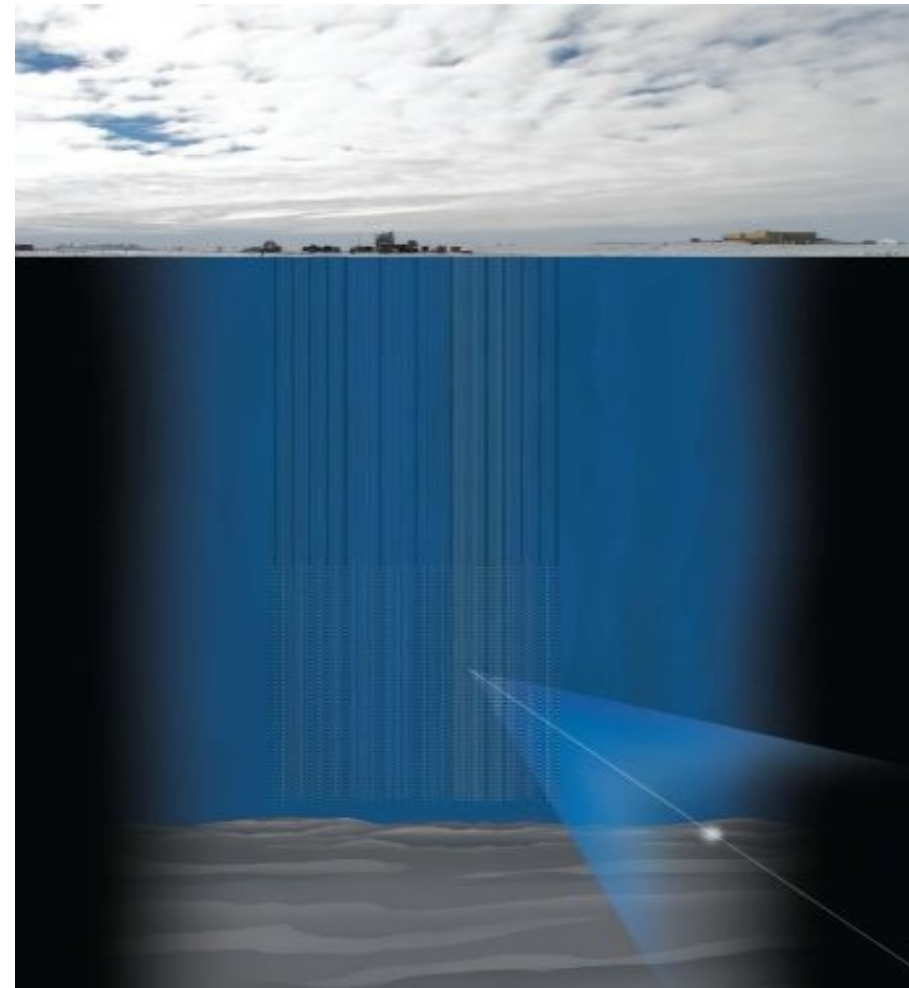
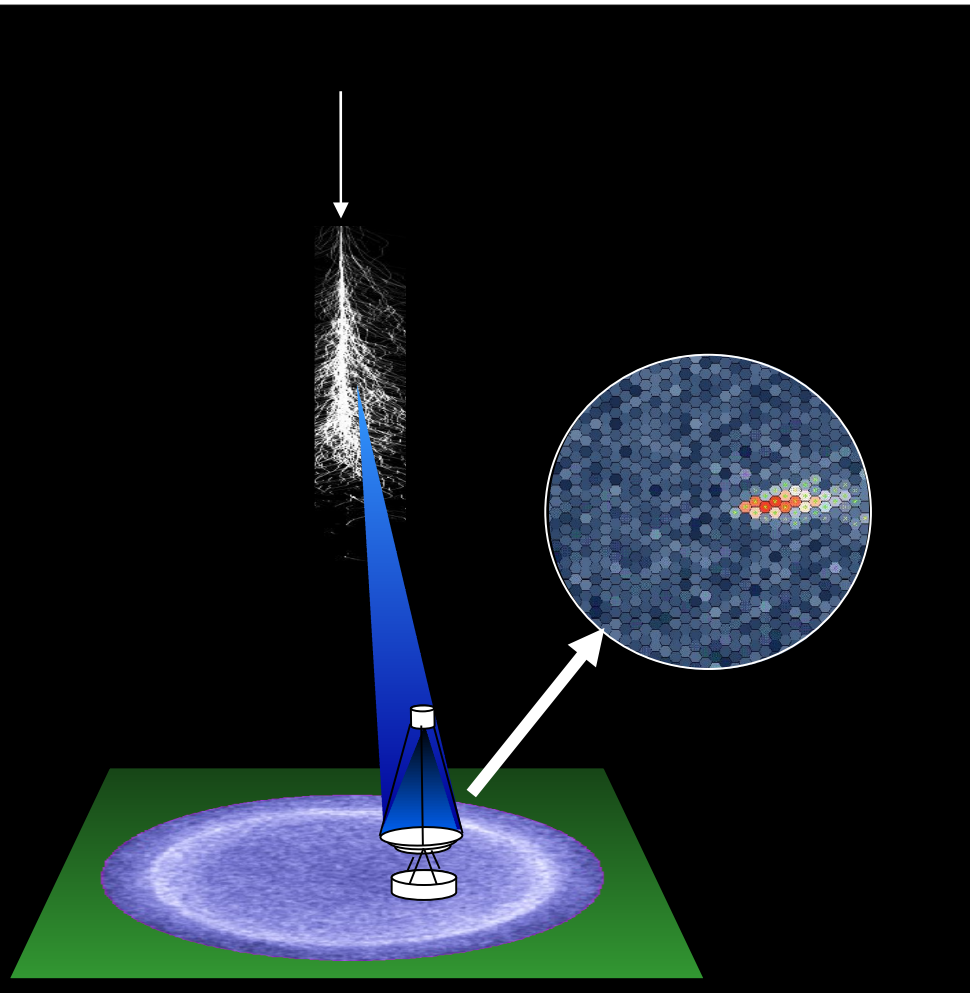
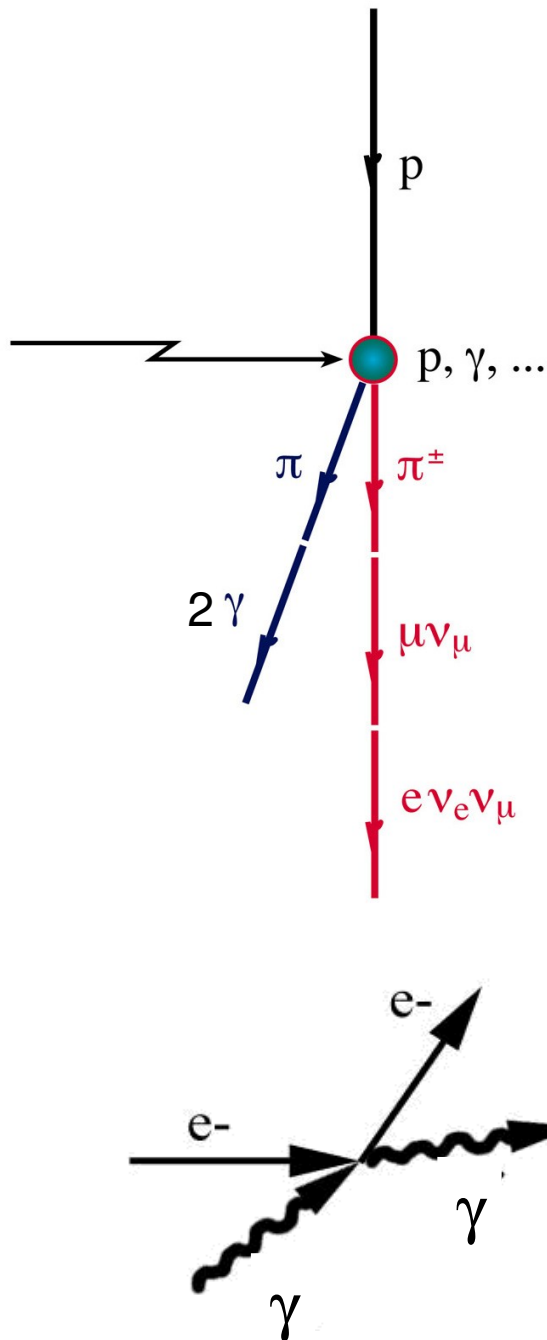




Phénomènes cosmiques de très haute énergie à travers les messagers neutres : les rayons gamma et les neutrinos



Mécanismes hadroniques ou purement leptoniques ?

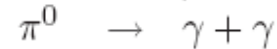
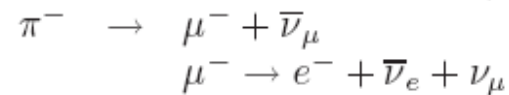
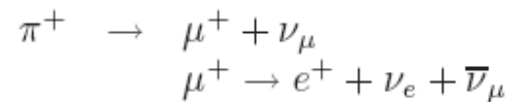
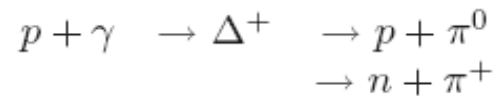
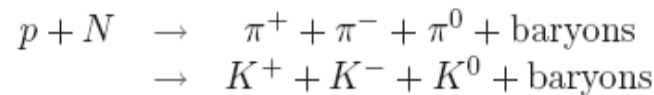


Mécanismes d'accélération :

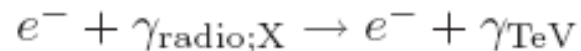
Ondes de choc (supernovae, vents de pulsars, vents stellaires, jets). Pulsars

Mécanismes d'accrétion-éjection au voisinage d'un objet compact (étoile à neutron ou trou noir): Systèmes binaires X et microquasars, Noyaux actifs de galaxie

Si hadronique :



Si leptonique :



Si les γ sont créés à partir d'électrons :
corrélation avec le rayonnement synchrotron

Diffusion Compton inverse

Télescopes gamma et neutrinos



VERITAS



MAGIC



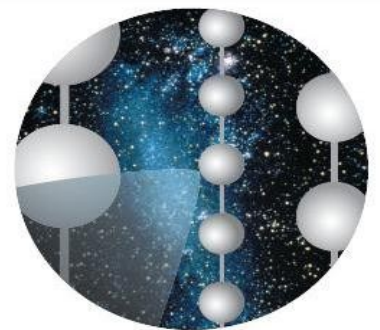
MAGIC II



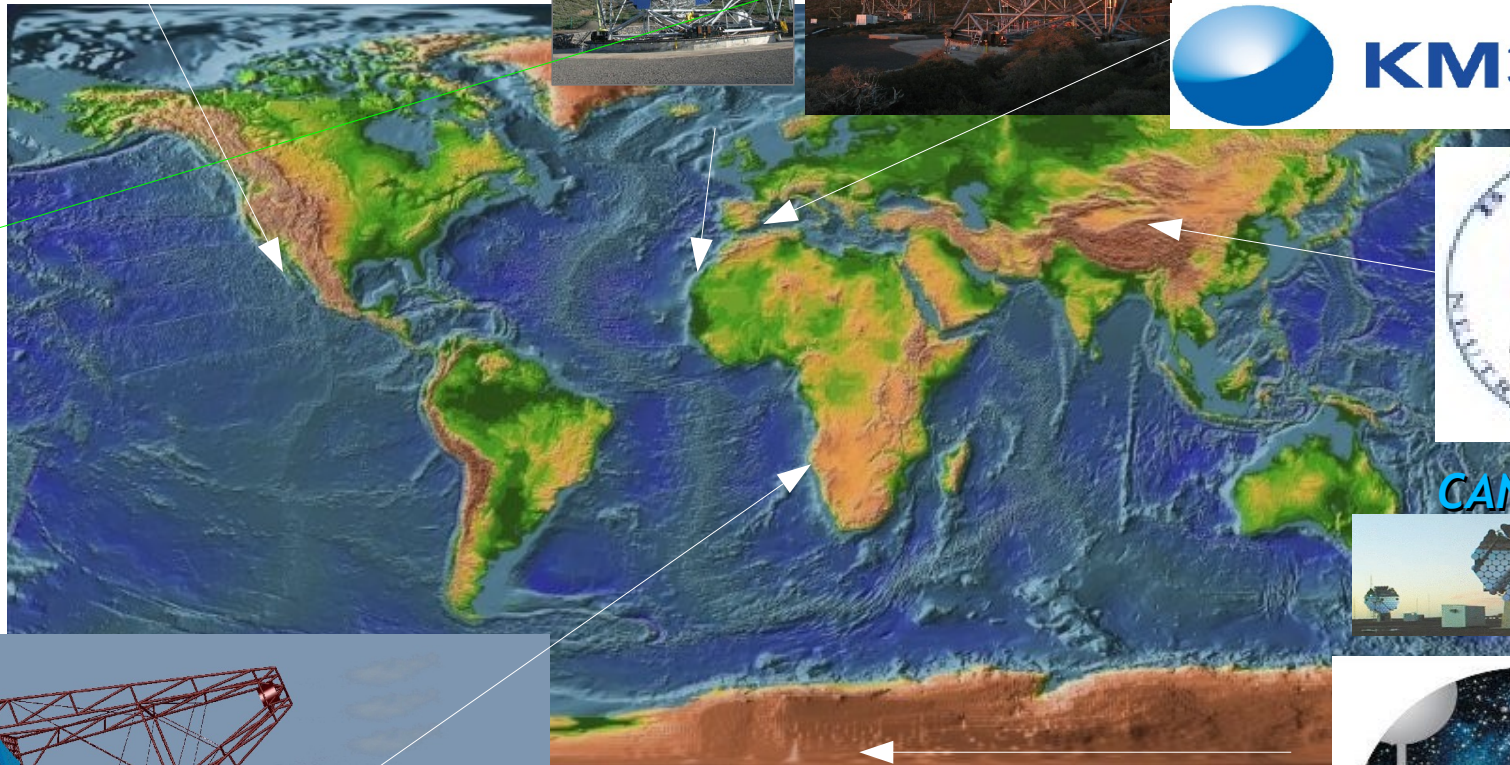
KM3NeT



CANGAROO-III



IceCube

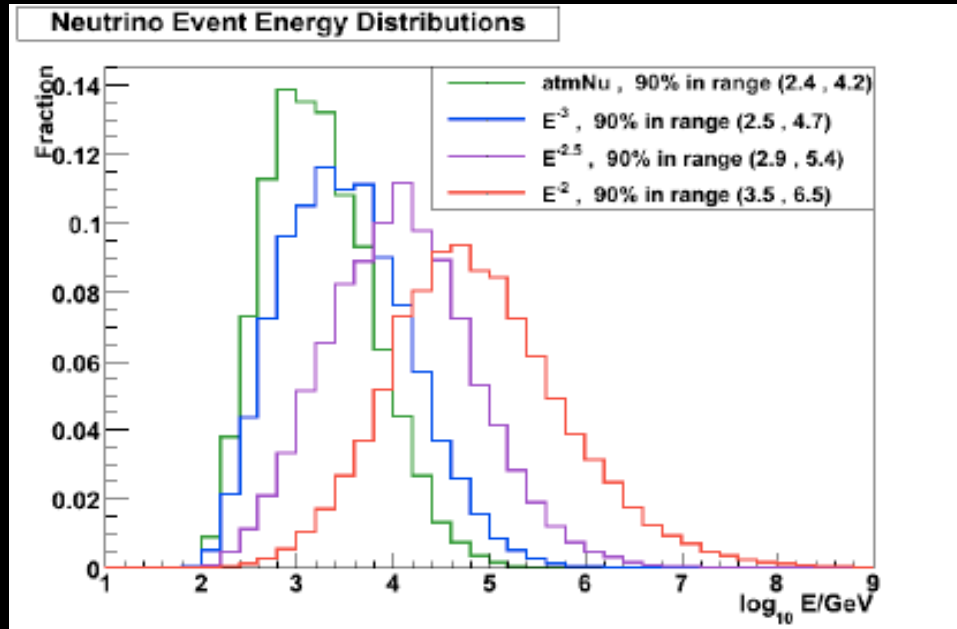


CTA

H.E.S.S.
HESS-II



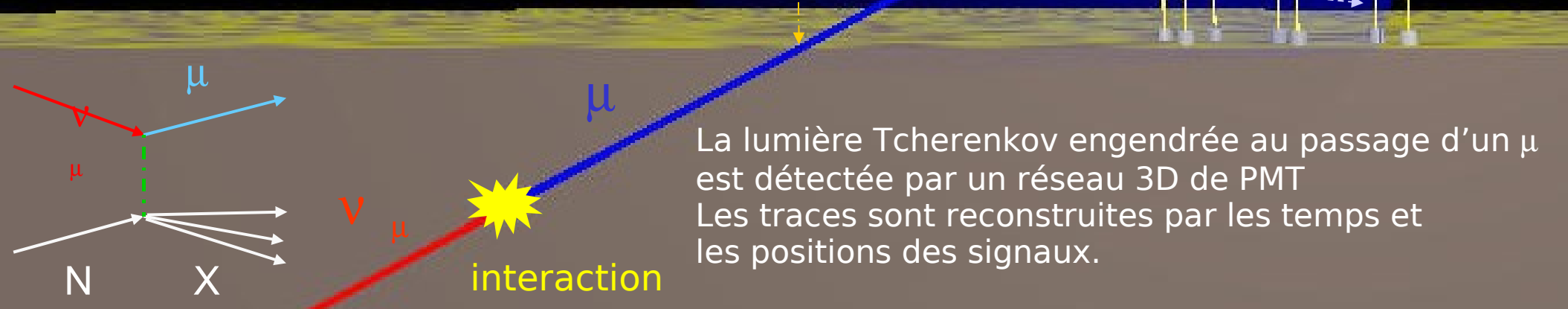
Détection de ν par les techniques Tcherenkov dans l'eau/glace



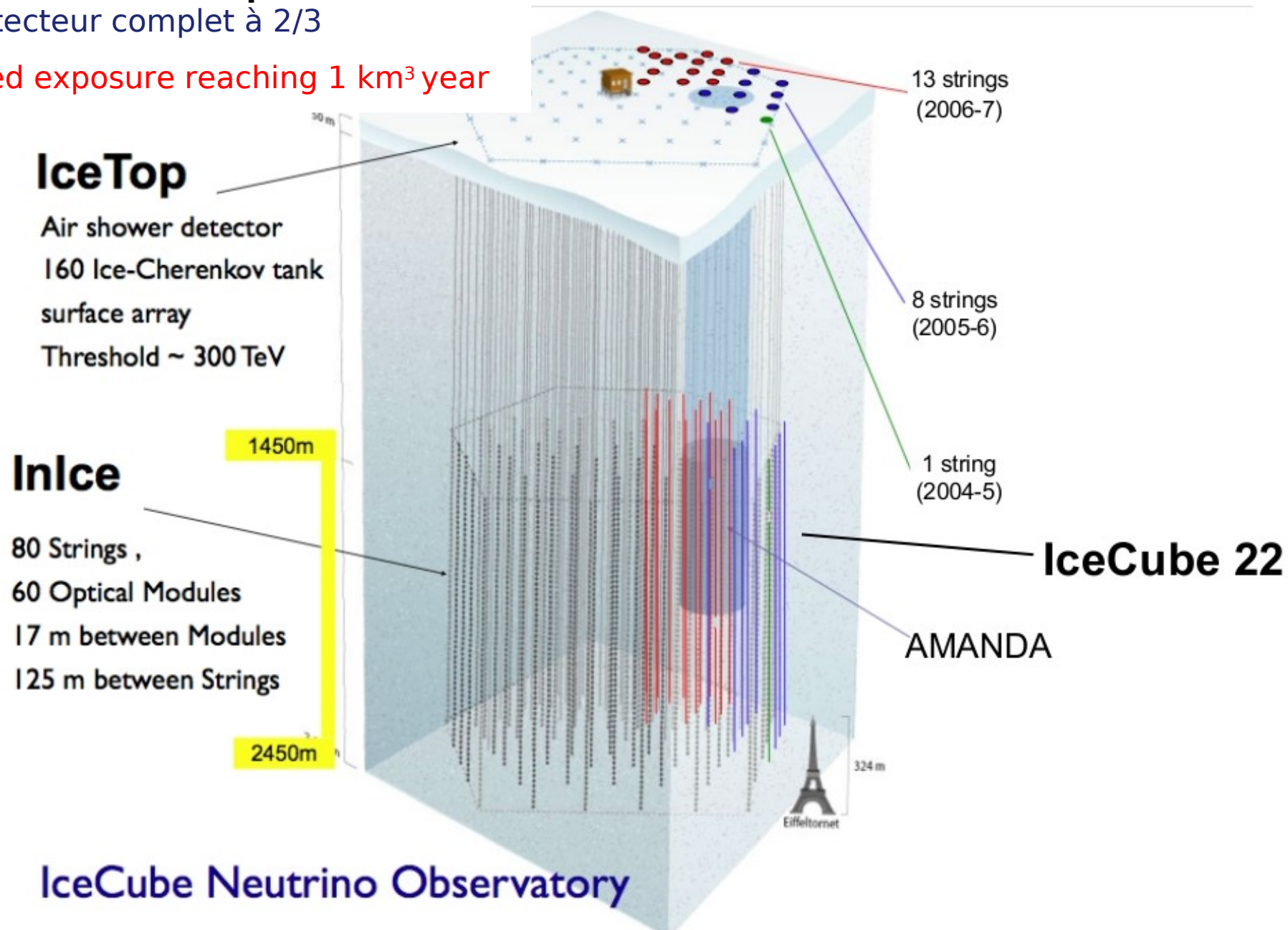
$\cos\theta = 1/n\beta = 1/n$
 Indice de réfraction $n \sim 1,35$
 $\theta = 43 \text{ deg}$

2500 m
profondeur

43°

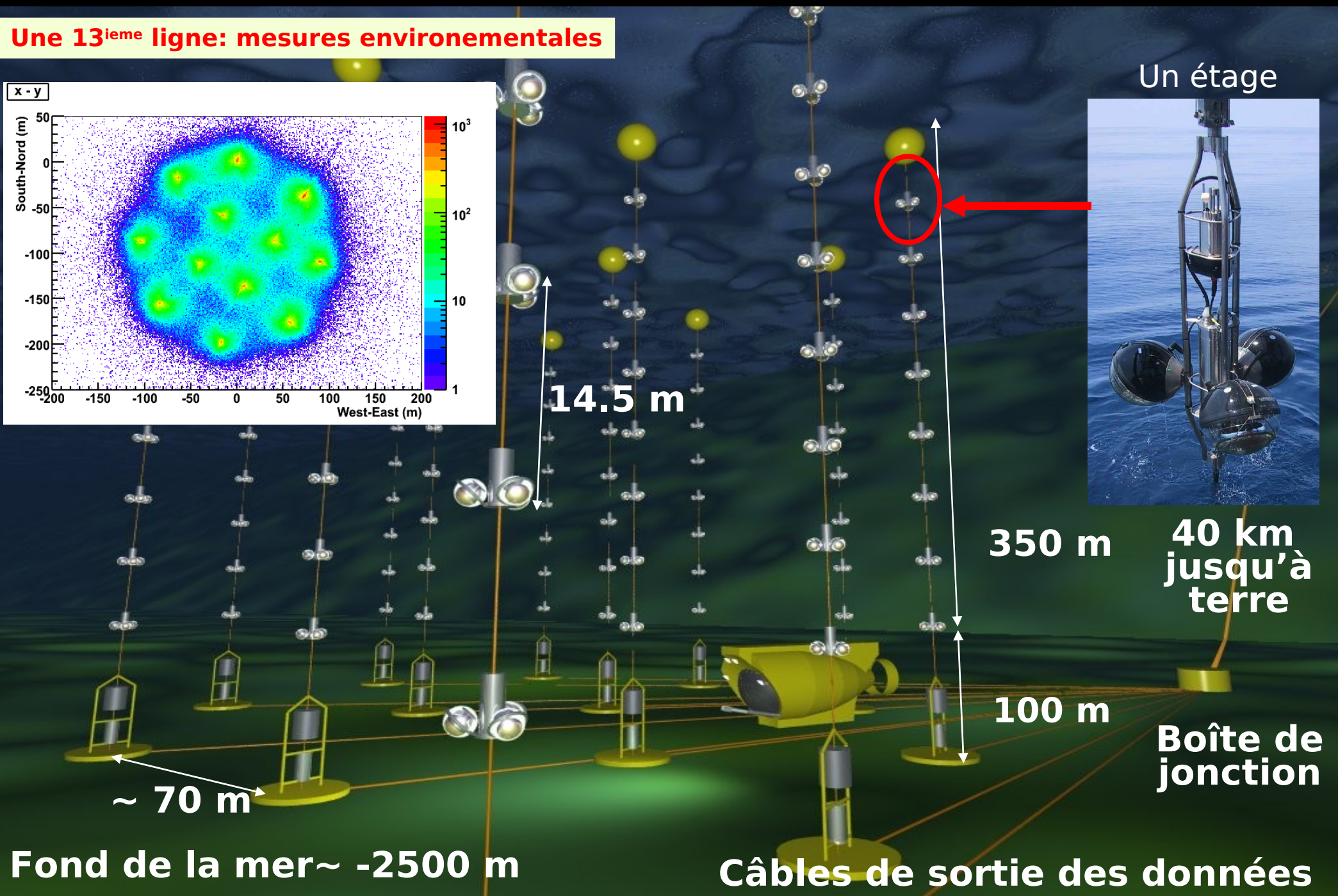
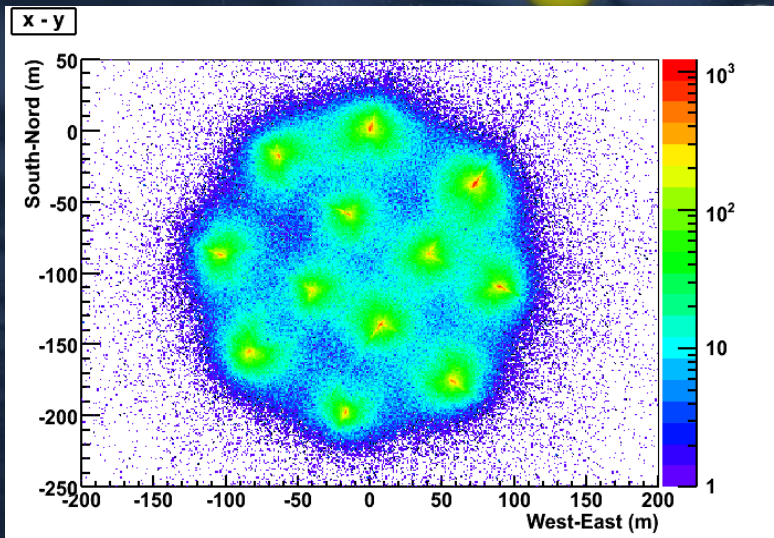


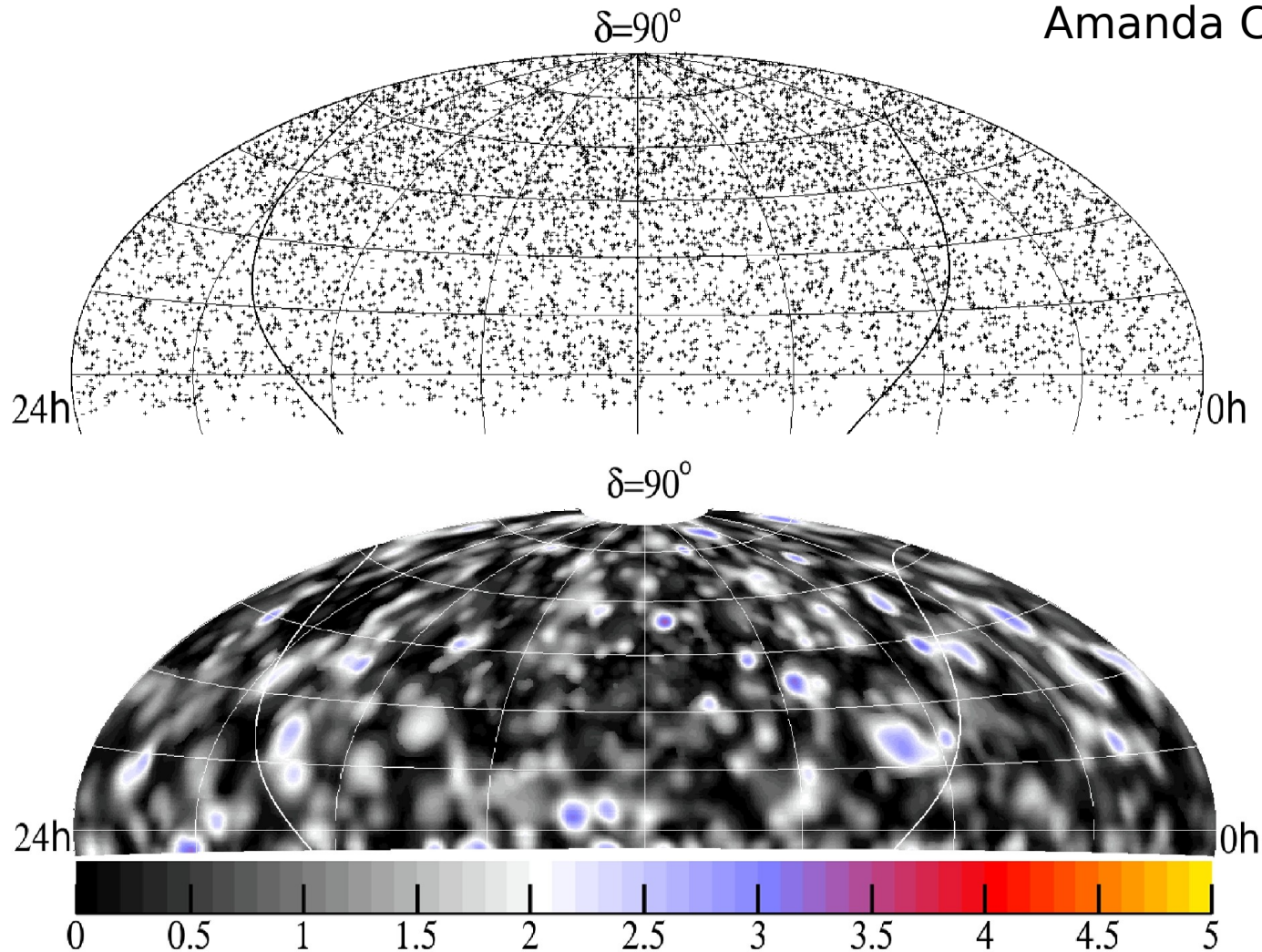
- **59 Lignes** et **118 IceTop tanks**
 - Détecteur complet à 2/3
- **Integrated exposure reaching 1 km³ year**



Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss Environmental Research

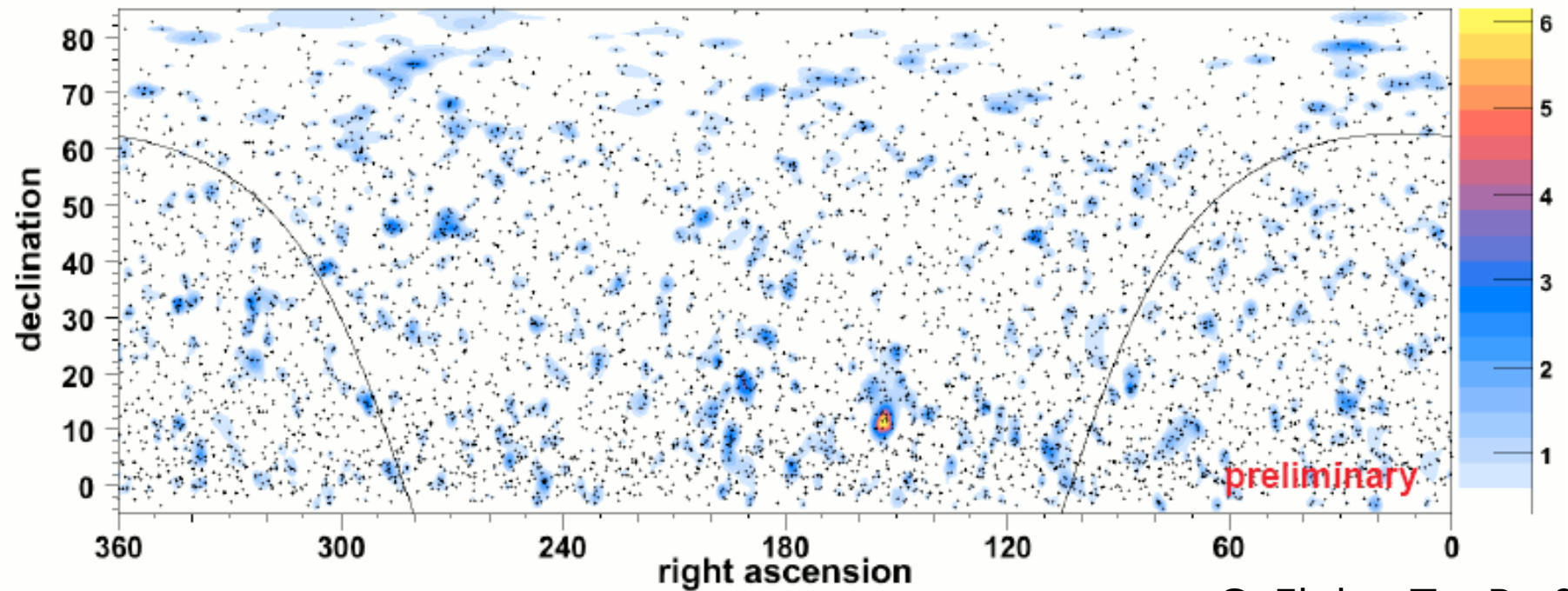
Une 13^{ième} ligne: mesures environnementales





- Amanda Coll : [arXiv:0809.1646v2](https://arxiv.org/abs/0809.1646v2) [astro-ph]
- Pas d'excès significatif dans 3.8 années de « livetime ». Limites les plus contraignantes existantes sur des sources astrophysiques ponctuelles.

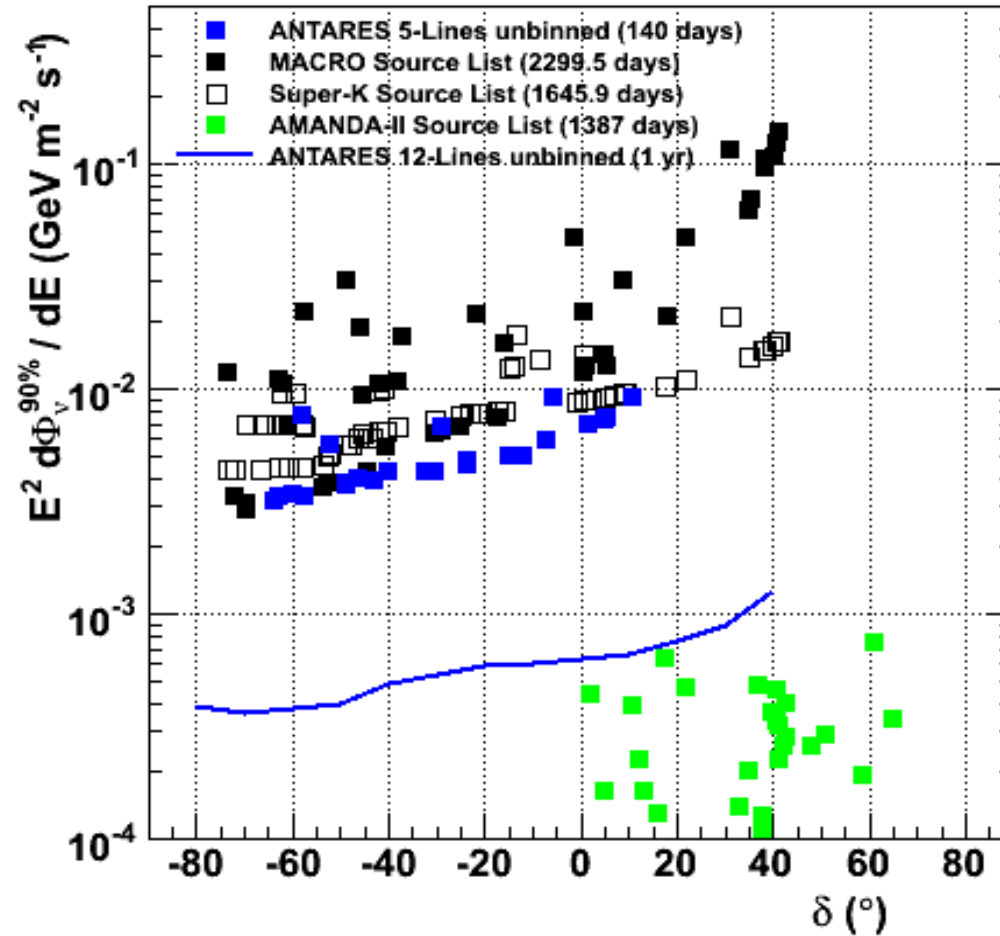
IceCube Collaboration



C. Finley TevPa 08

Hottest spot found at r.a. 153° , dec. 11°

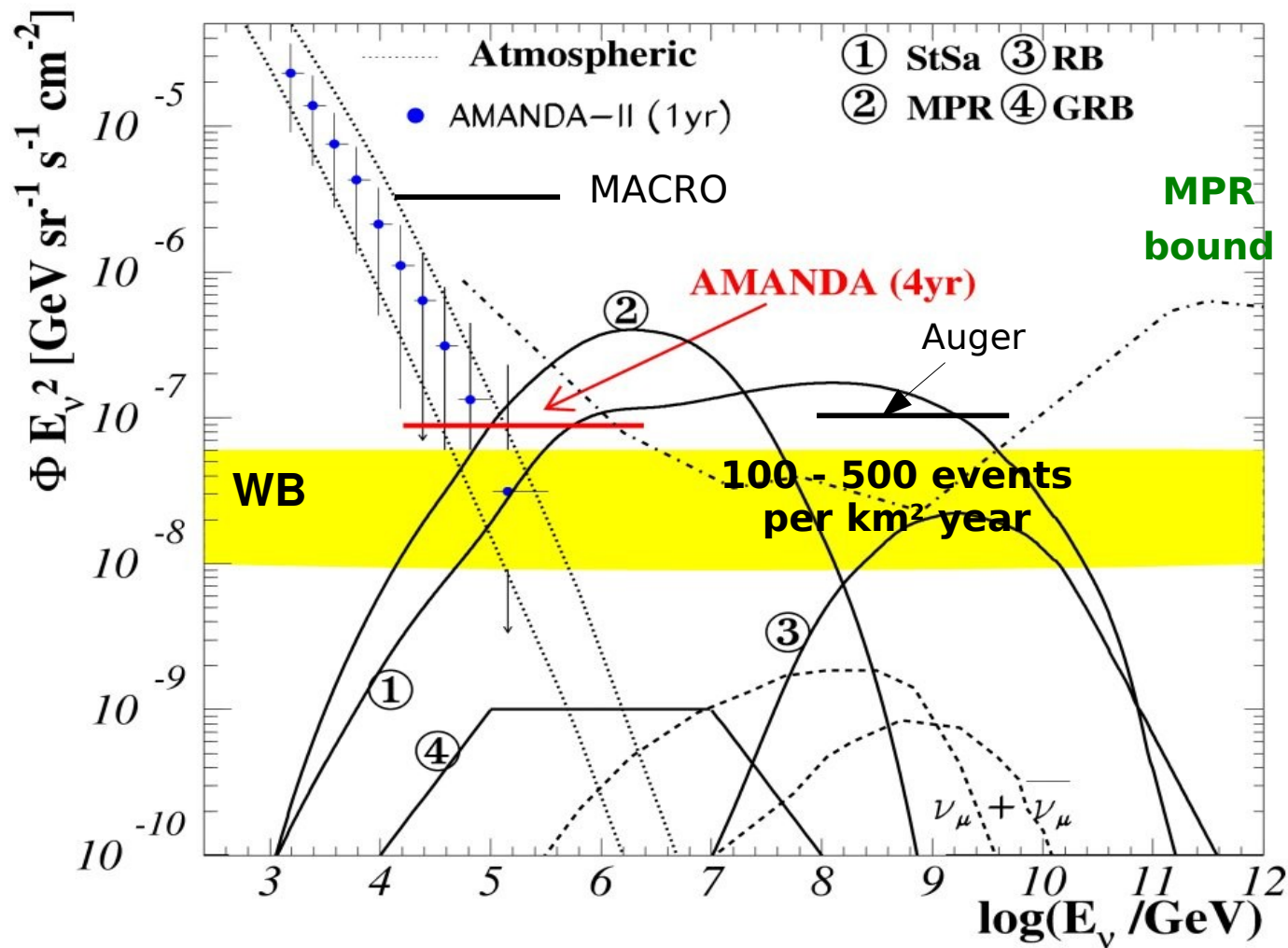
Post-trials p-value of analysis is $\sim 1.34\%$ (2.2 sigma) ...



K. Fratini [Moriond 09]

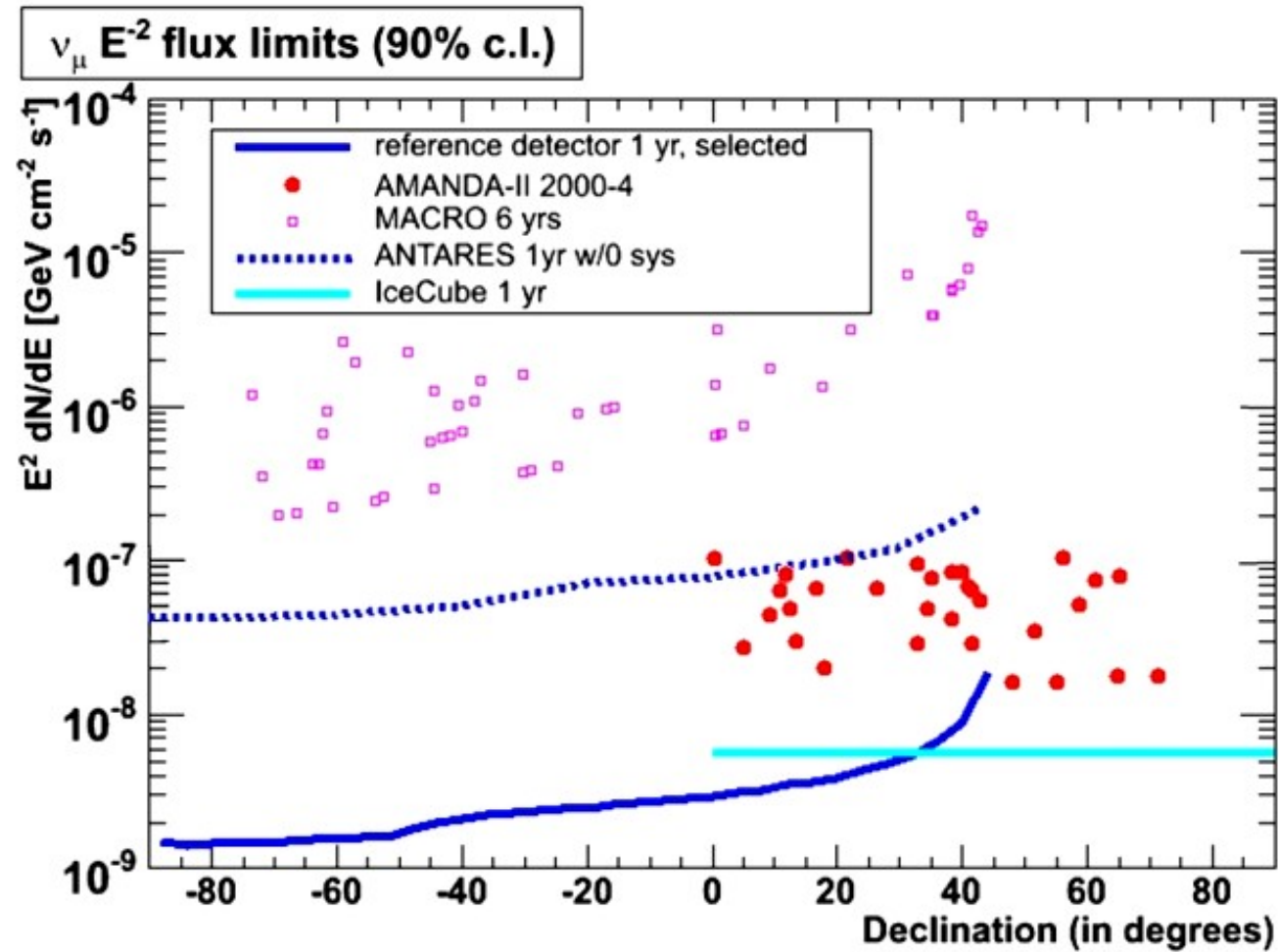
Antares commence à produire des résultats de physique !

Recherche d'un flux diffus de neutrinos



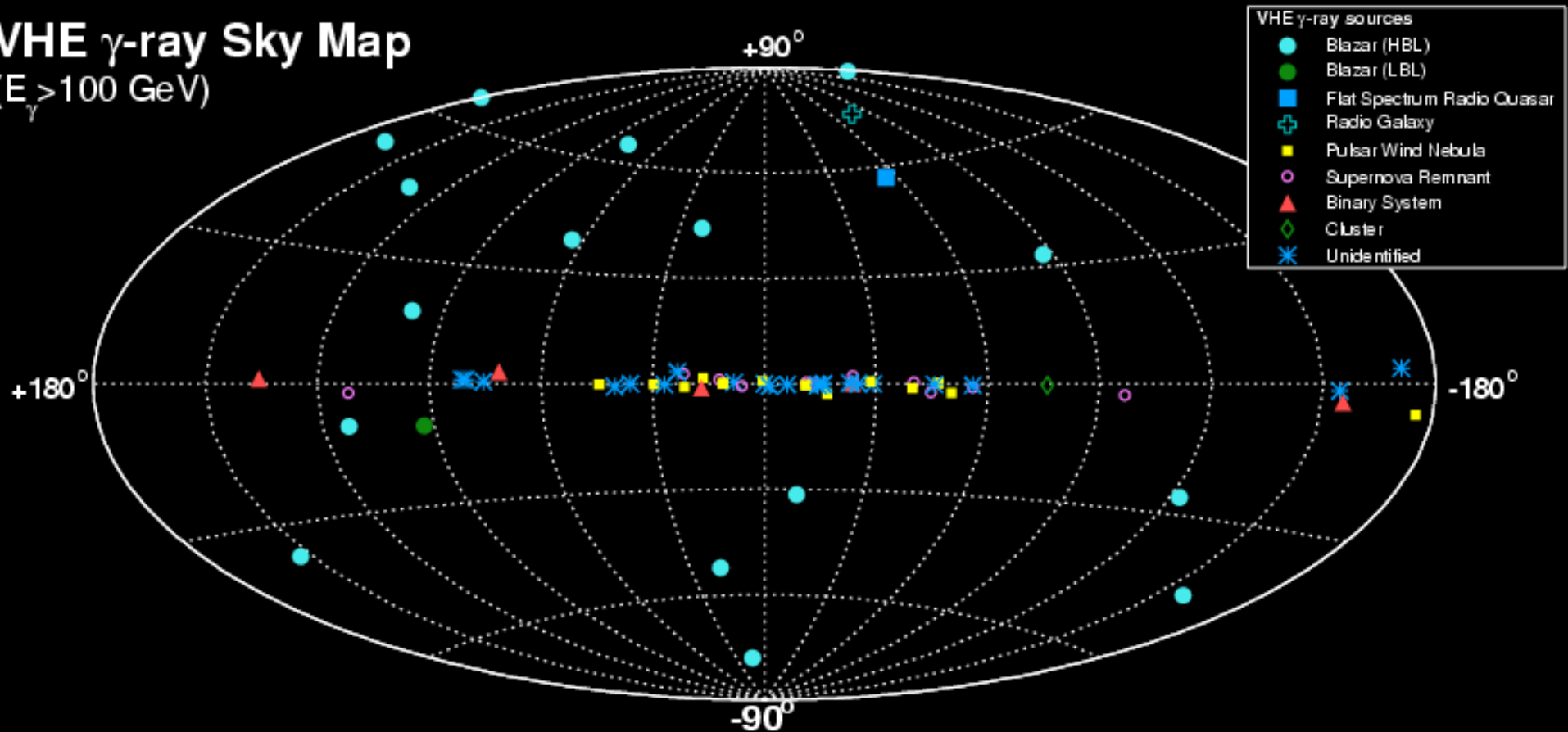
Excès en énergie :

- reconstruction de l'énergie de l'événement ou
- utilisation de variables corrélées avec l'énergie (YB)



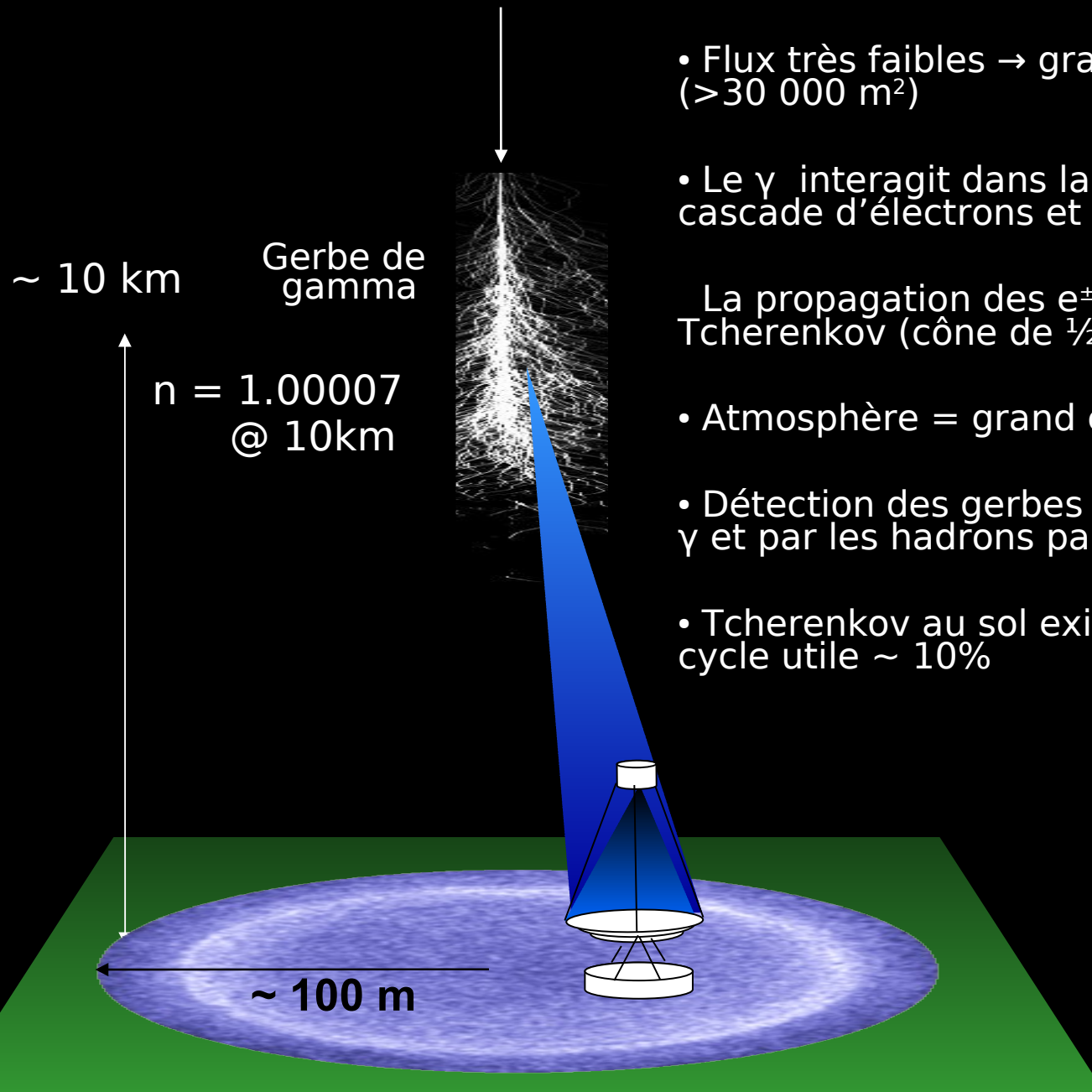
> 70 Sources

VHE γ -ray Sky Map ($E_{\gamma} > 100$ GeV)



2007-09-15 - Up-to-date plot available at <http://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/sources/>

Détection de gammas par les techniques Tcherenkov atmosphériques



- Flux très faibles \rightarrow grandes surfaces de détection ($> 30\,000\text{ m}^2$)

- Le γ interagit dans la haute atmosphère $\rightarrow e^+ e^- \rightarrow$ cascade d'électrons et de photons.

La propagation des e^\pm ultra-relativistes \rightarrow lumière Tcherenkov (cône de $\frac{1}{2}$ angle $\sim 1^\circ$ près du sol)

- Atmosphère = grand calorimètre

- Détection des gerbes atmosphériques créées par les γ et par les hadrons par leur lumière Tcherenkov

- Tcherenkov au sol exige des nuits claires sans lune \rightarrow cycle utile $\sim 10\%$

L'éclair Tcherenkov =
quelques nanosecondes

\rightarrow nécessité d'un temps
d'intégration très court

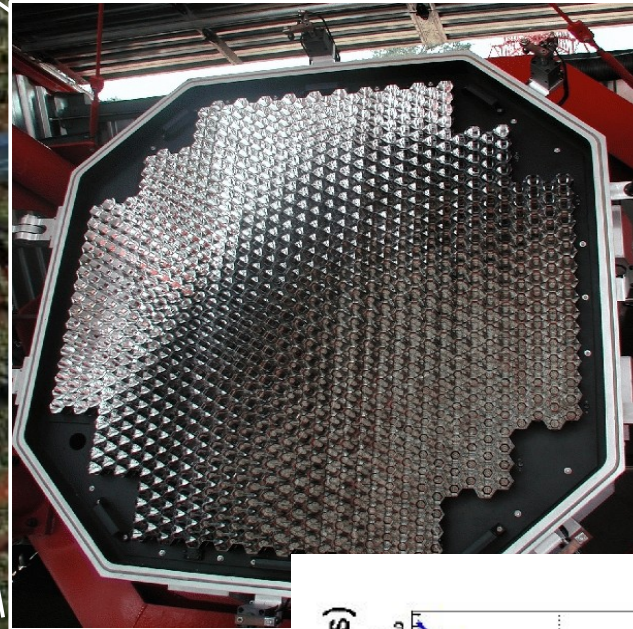
The High Energy Stereoscopic System H.E.S.S.

Situé en Namibie,
23°S, 15°E
Altitude : 1800 m

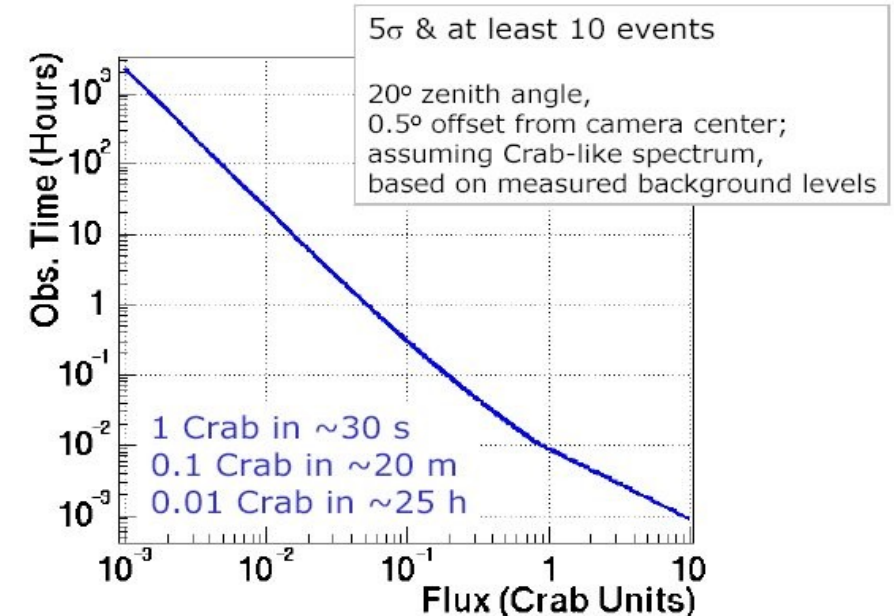
Surface d'un miroir :
104 m² (d = 12 m)
Longueur focale :
15 m

Caméra à haute
résolution 960 pixels
PMT 0.16°
Grand champ de vue 5°

120 m



Seuil au zenith ~ 160 GeV
Seuil à 40 deg ~ 300 GeV



- Sources galactiques

- Young Shell-type Supernova Remnants (ex. RXJ 1713.7-3946)
- Older and/or Interacting SNRs (W28)
- Composite SNRs
- Pulsar Wind Nebulae (Vela X)
- Binary Systems (LS 5039, PSR B1259)
- Open Stellar Clusters
- Galactic Centre
- Galactic diffuse emission
- MILAGRO sources and “hot spots”

- Sources extra-galactiques

- Blazars (9 discoveries by H.E.S.S., several confirmations) PKS 2155-304
- Radiogalaxies (M87, Centaurus A)
- Extragalactic Background Light (EBL)
 - H.E.S.S. demonstrated that EBL is lower than previously thought (Nature, 2006)
- Limit on Quantum Gravity thanks to measurements of rapid flares (PRL 101.170402, 2008)
- Multiwavelength campaigns (e.g. PKS 2155-304)
- Starburst Galaxies (UL)
- GRBs (UL)

Sources galactiques : Young Shell-type SNRs

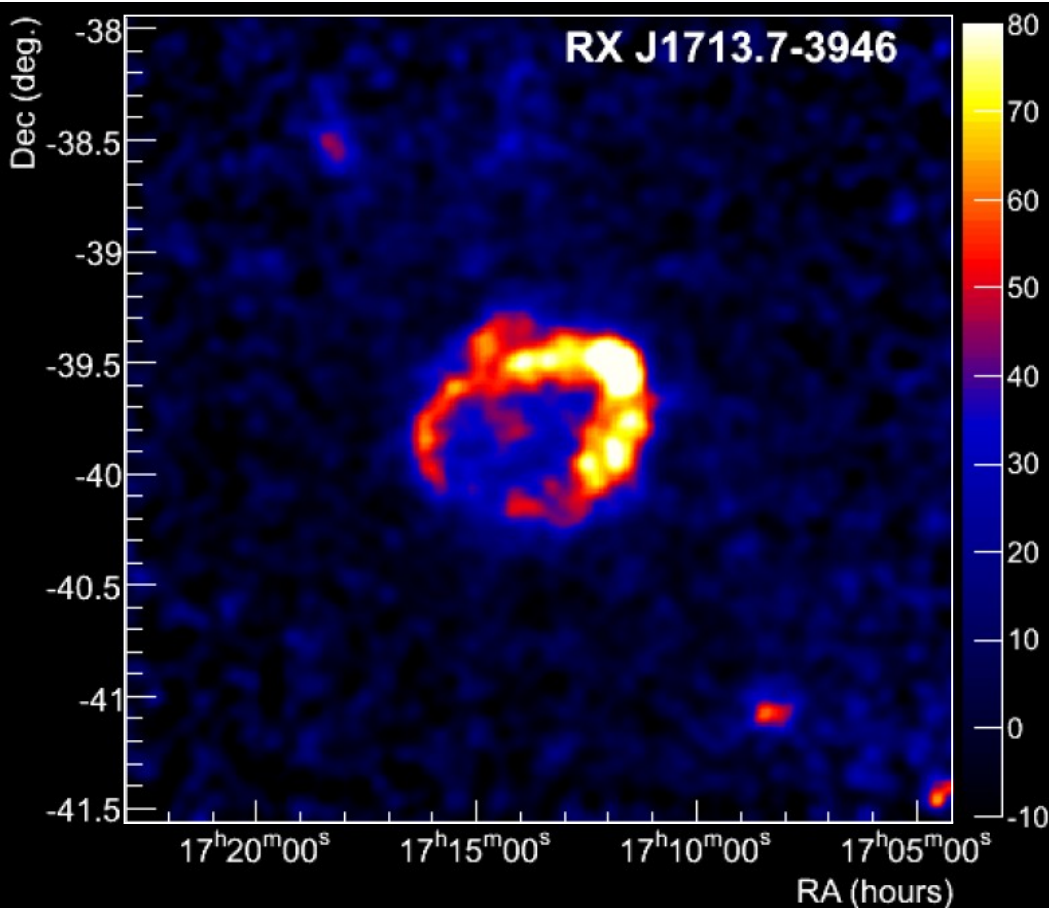
RX J1713.7-3946: $\sim 1.3^\circ$

1 (10) kyr : 1 (6) kpc

gal latitude $b=0.5$

Première carte morphologique en γ

Forte corrélation avec les rayons X: $\sim 80\%$



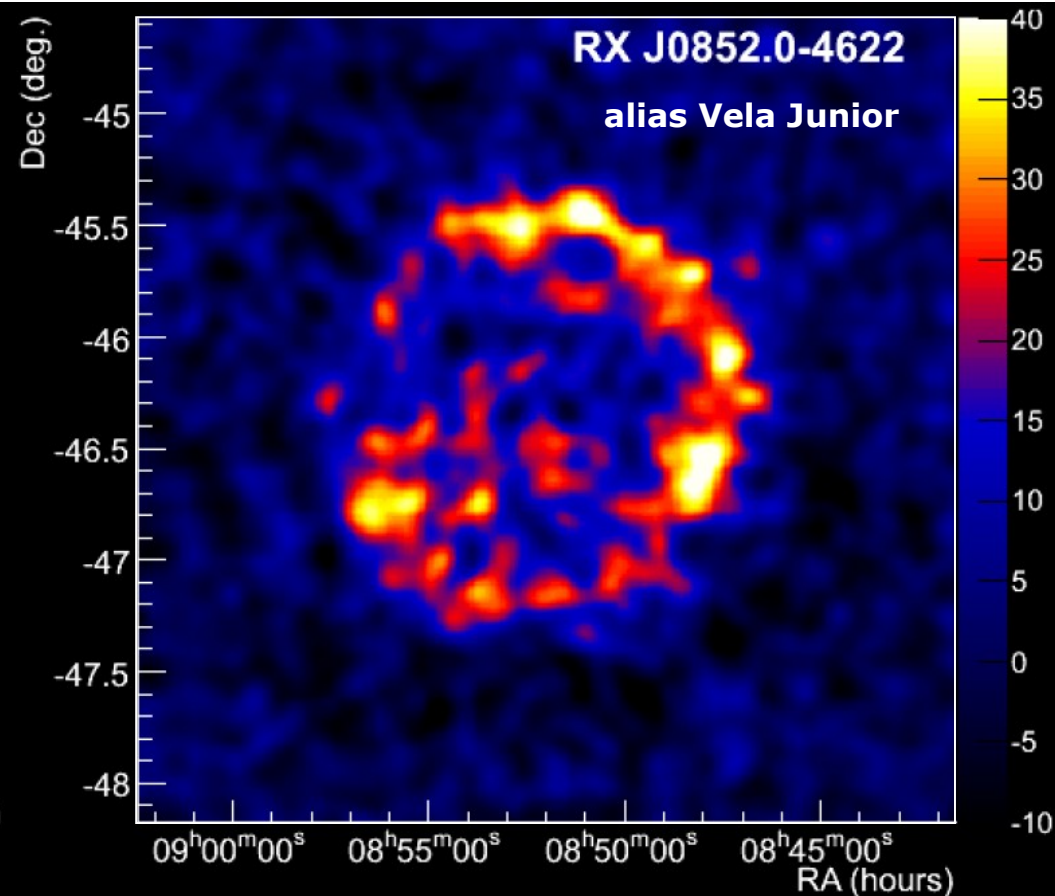
RX J0852.0-4622: 2°

0.7-1.1 kyr : 200-500 pc (1-2 kpc)

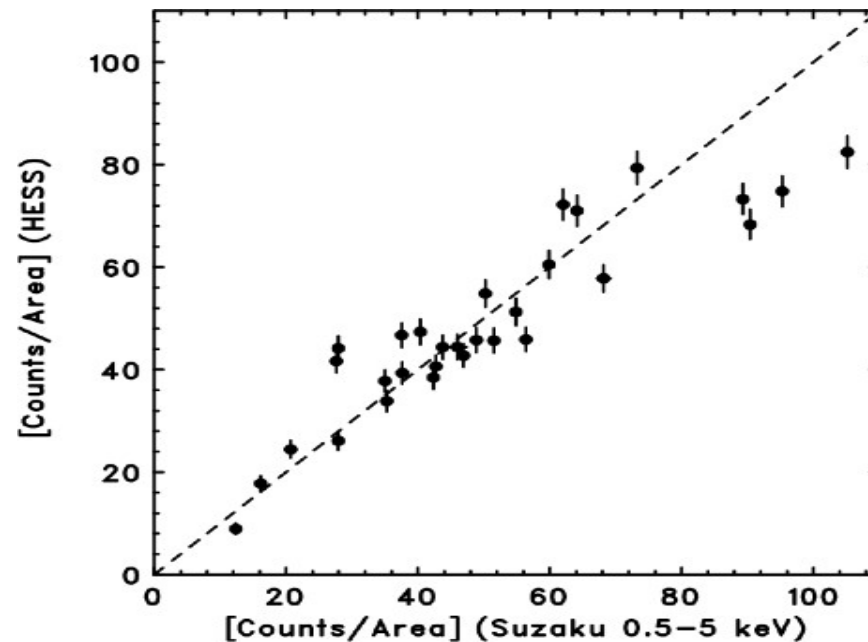
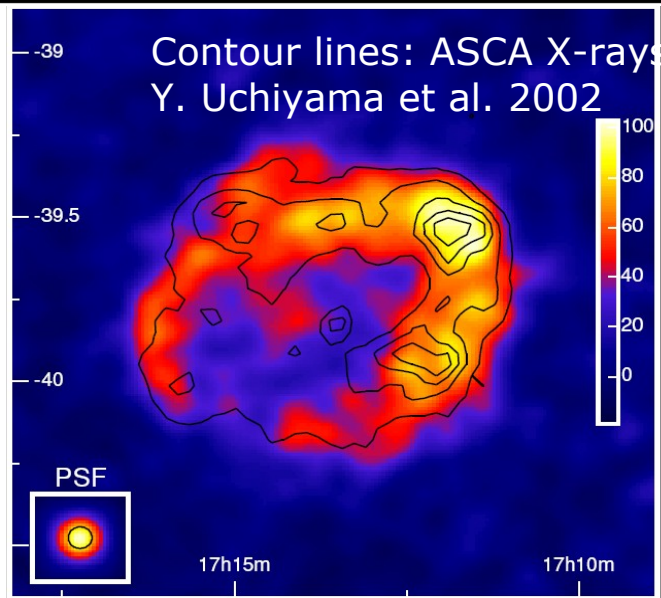
gal latitude $b=1.2$

Coquille fine en γ

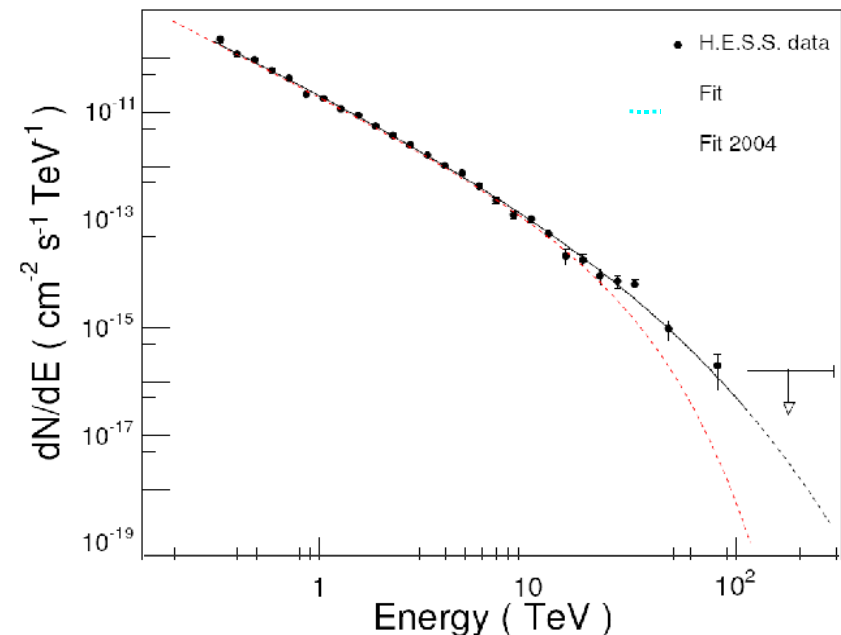
Corrélation avec les rayons X $\sim 65\%$



RX J1713.7-3946 : hadrons vs. leptons



- Forte corrélation γ/X (80%)
- La corrélation γ/X favorise les modèles leptoniques ($\rightarrow B \sim 10 \mu\text{G}$)
- L'index spectral mesuré par H.E.S.S. ~ 2.0 , la coupure dans le spectre est à 20 TeV
- Modèles hadroniques $\rightarrow B = 126 \mu\text{G}$, $e/p = 10^{-4}$
 - Meilleur fit de la forme du spectre
 - Densité moyenne de matière $\sim 1 \text{ cm}^{-3} \rightarrow$ violation de la limite supérieure de 0.02 cm^{-3} par l'absence de rayons X thermiques



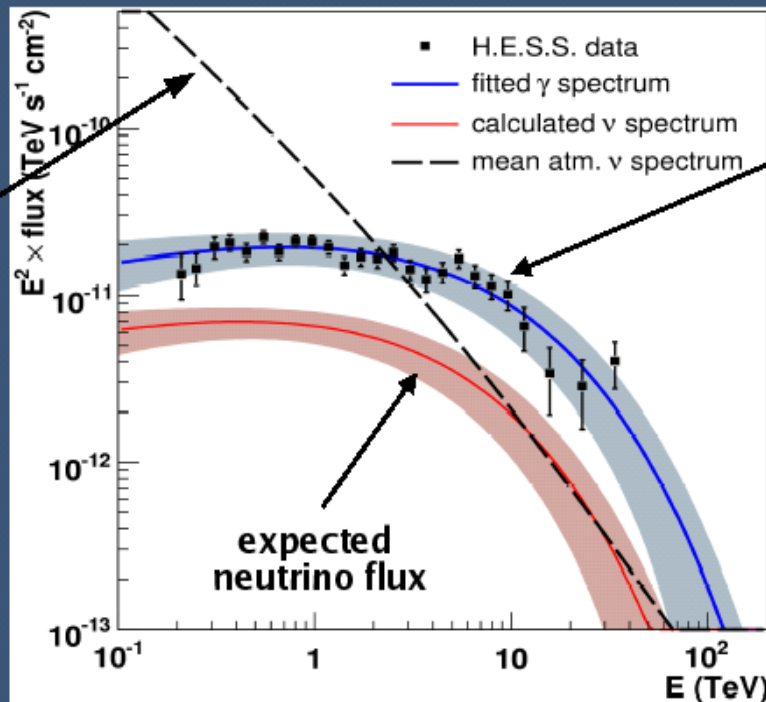
RX J1713.7-3946 : hadrons vs. leptons

A. Kappes et al.

Astrophys.J.656:870-896,2007

astro-ph/0607286

mean atm. flux
(Volkova, 1980,
Sov.J.Nucl.Phys.,
31(6), 784)

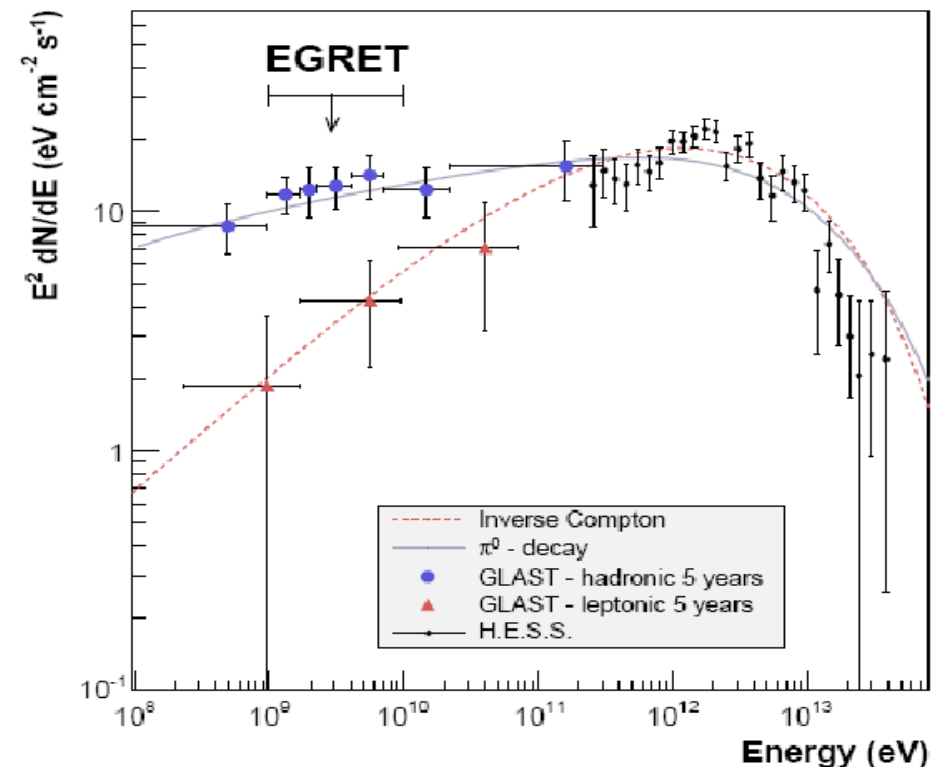


measured
 γ -ray flux
(H.E.S.S.)

expected
neutrino flux

Fermi : résultats en 5 ans
d'intégration

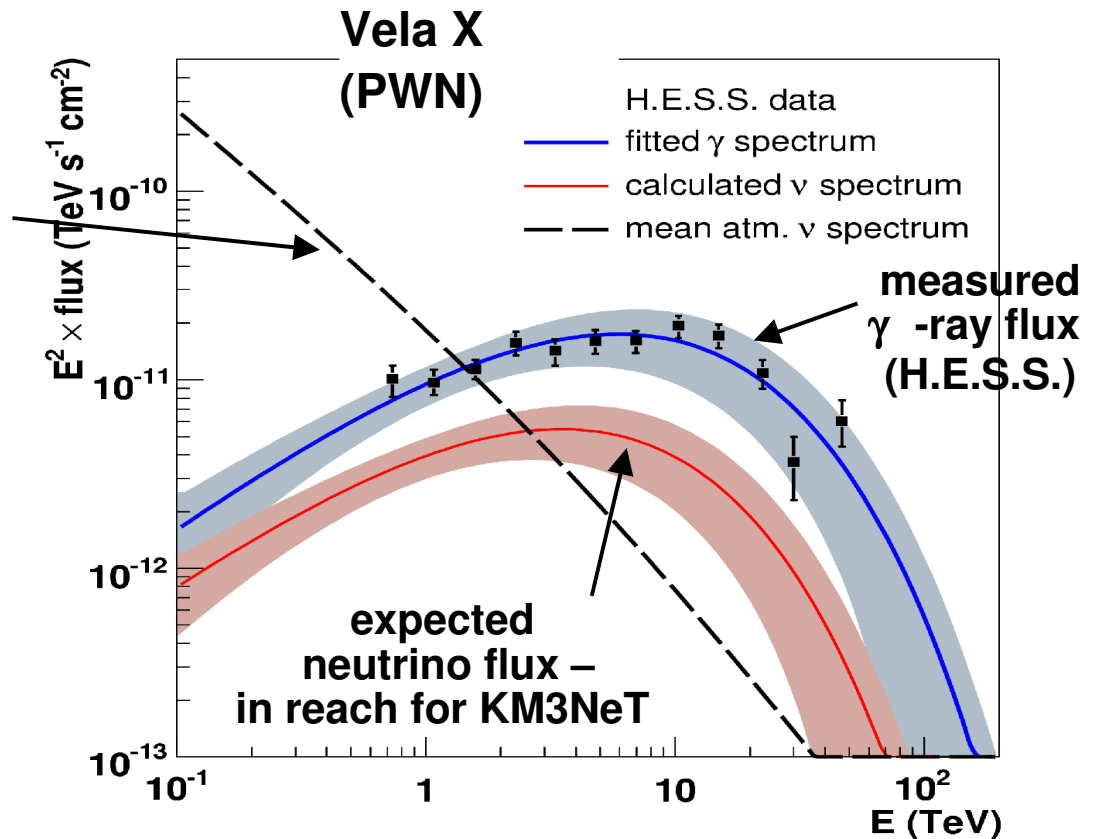
- On suppose $\pi^0 \rightarrow \gamma$ et on calcule le spectre attendu par $\pi^{+/-} \rightarrow \nu$ dans un détecteur de taille KM^3 dans l'hémisphère nord.
- En 5 ans de « livetime » dans un KM^3 1.4σ !
- 1 KM^3 n'est pas suffisant
 - besoin de plusieurs KM^3



Vela X : hadrons vs. leptons

mean atm. flux
(Volkova, 1980,
Sov.J.Nucl.Phys.,
31(6), 784)

A. Kappes et al.
Astrophys.J.656:870-896,2007
astro-ph/0607286



- les modèles leptoniques sont favorisés dans d'autres PWN (e.g. HESS J1825-137) car on observe un changement de l'index spectrale avec la distance du pulsar → refroidissement/vieillessement des électrons
- 5 années de livetime dans un détecteur de taille d'un $\text{KM}^3 \rightarrow 2.6 \text{ sigma} !$

Older Shell-type SNRs: W28

W28 @ 2-3 kpc
35 – 150 kyr age

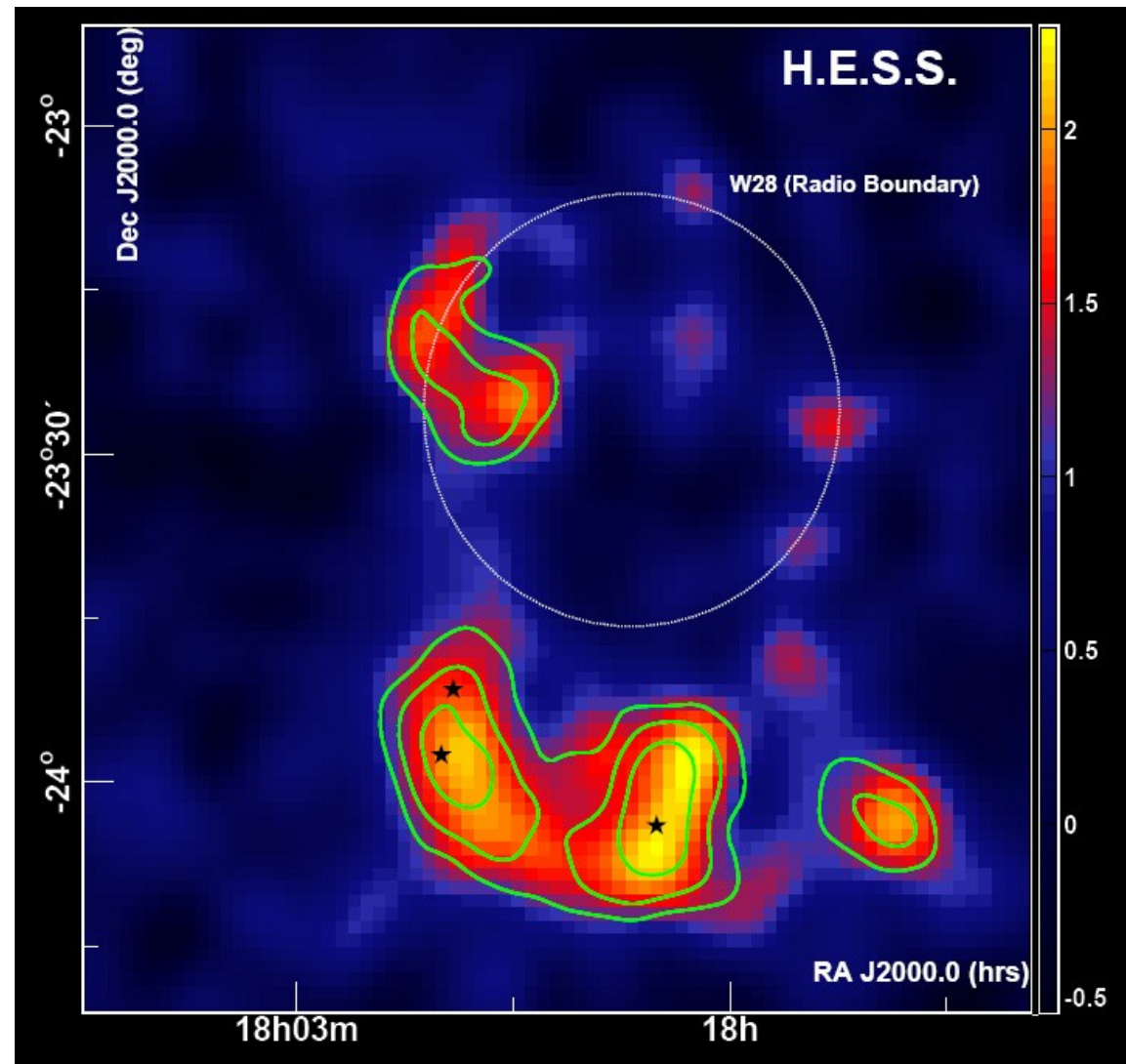
Emission au TeV coïncidente avec les nuages moléculaires est détectée
Par H.E.S.S.

Le champ magnétique B attendu
est élevé

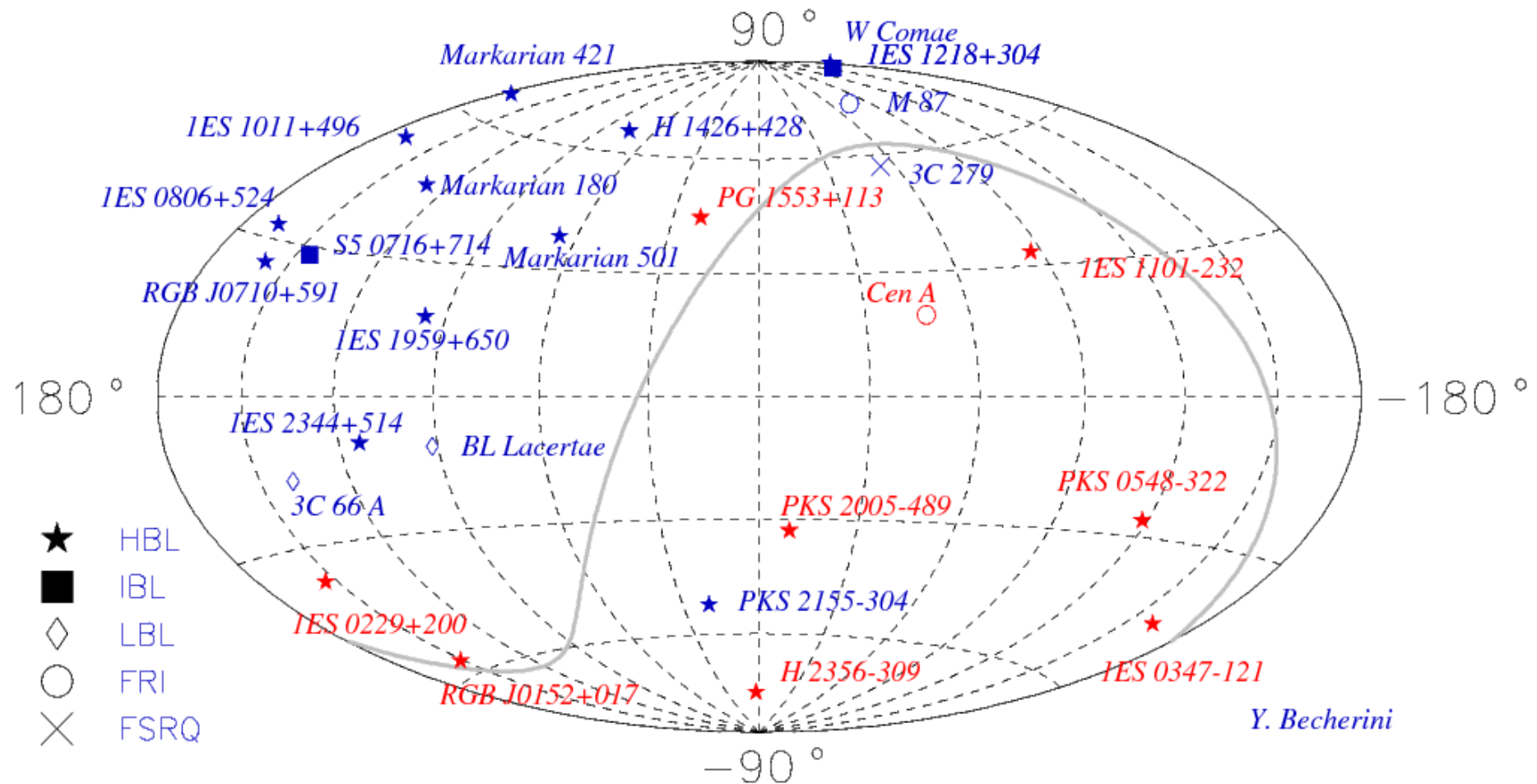
Première évidence de l'interaction p-p
dans l'interaction SNR/nuages

Ces rayons cosmiques pourraient être
produits par W28

→ Candidat hadronique



Le catalogue extra-galactique



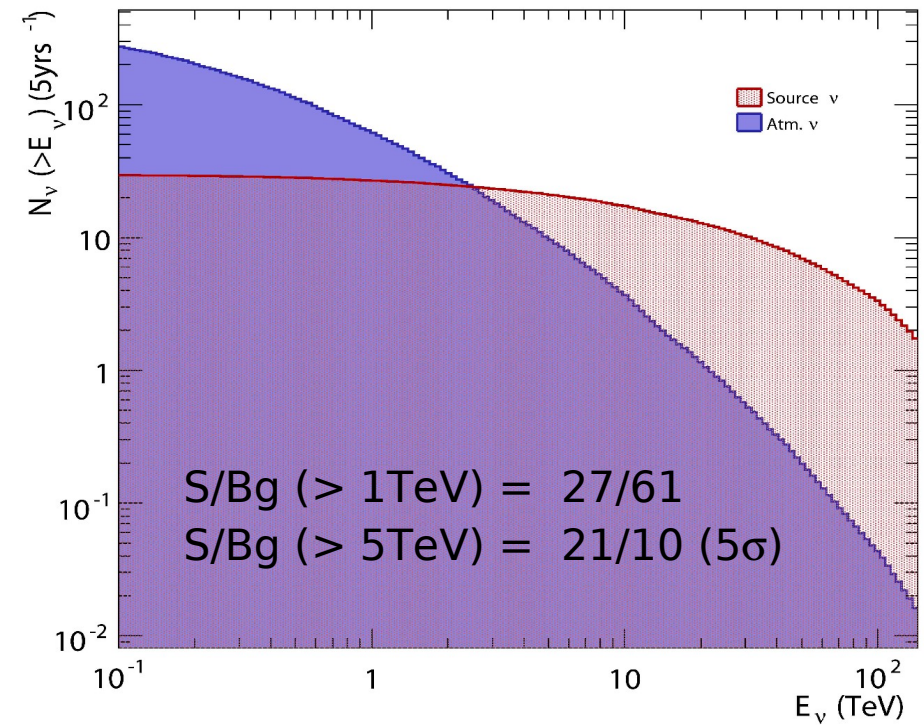
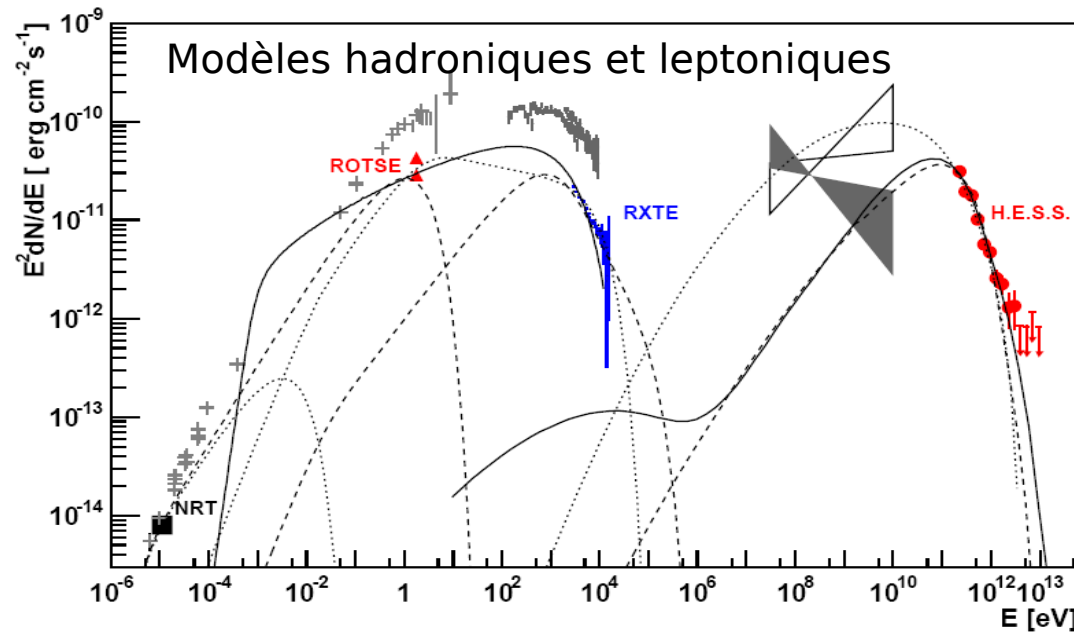
90% de blazars

12 détections par H.E.S.S.

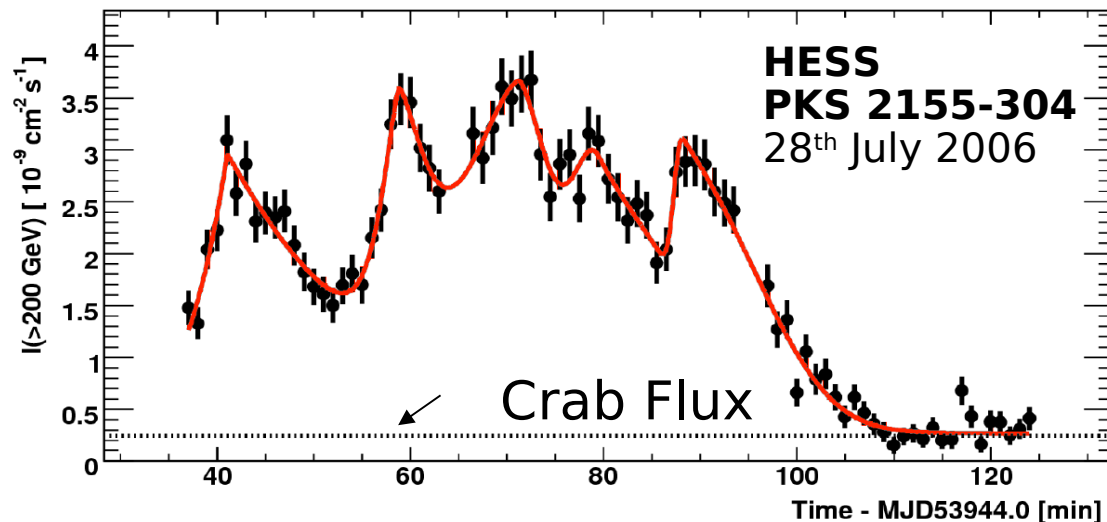
9 découvertes de H.E.S.S.

PKS 2155-304 : mesures en gamma et prédictions neutrinos

Campagne multi-longueur d'onde en 2003



R.J.White, ICRC 2007

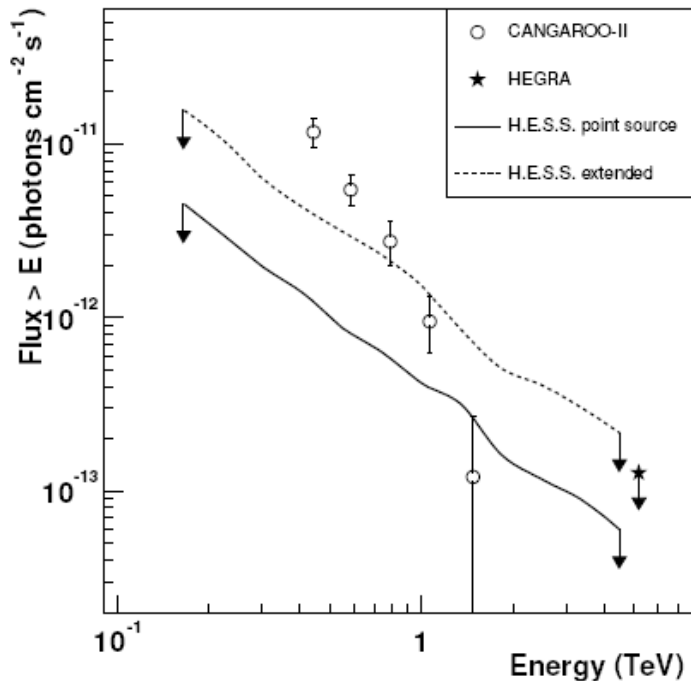


- Flare exceptionnel de Juillet 2006
- Variabilité sur l'échelle de 3 minutes
 - Difficultés pour les modèles hadroniques

Galaxies « starburst » et galaxies « Ultraluminous Infrared » (ULIRG)

NGC 253

ARP 220



- Les galaxies starburst et les ULIRG ont un flux prédit des γ à très haute énergie qui est juste en dessous de la sensibilité actuelle
- Détection difficile en γ avec les instruments actuels
- Les limites supérieures sur le flux de γ se rapprochent des prédictions théoriques
- « A search for very high energy gamma-ray emission from the starburst galaxy NGC 253 with H.E.S.S. *Astron. Astrophys.* 442 (2005) 177-183

- Énorme progrès dans les années 2002-2008 grâce à H.E.S.S.
- 2004-2009:
 - 63 papiers de physique « pure »
 - 52 sources publiées (la plupart des 1^{ières} détections)
- 2010 : HESS-II
 - Ouverture d'une autre fenêtre d'observation dans le domaine des dizaines de GeV
 - Nouvelles découvertes attendues (pulsars, AGN)
- 2011 – 2012 : réseau CTA
 - permettra de voir les détails des sources
 - nouvelles découvertes attendues (sources faibles)
- Les spectres gammas sont essentiels pour pouvoir calculer les taux de ν attendus (fort lien $\gamma - \nu$)
- En cas contraire --> les calculs sont spéculatifs
- Premiers résultats (ou limites) dans les années à venir (IceCube)
- Antares : petit volume mais la faisabilité de la technique est démontrée
- 1 KM³
 - Pour la recherche des sources ponctuelles cette taille n'est pas suffisant (au seuil de la détection)
 - Flux diffus de neutrinos (limite de WB → 100-300 ev/an)

HESS Phase II



- **First goal:** lower the threshold to about 30 GeV

$$E_{thres} \propto \left(\sqrt{B \Omega \Delta t / A \epsilon} \right)$$

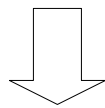
A mirror area, Ω angular size

ϵ photon detection efficiency

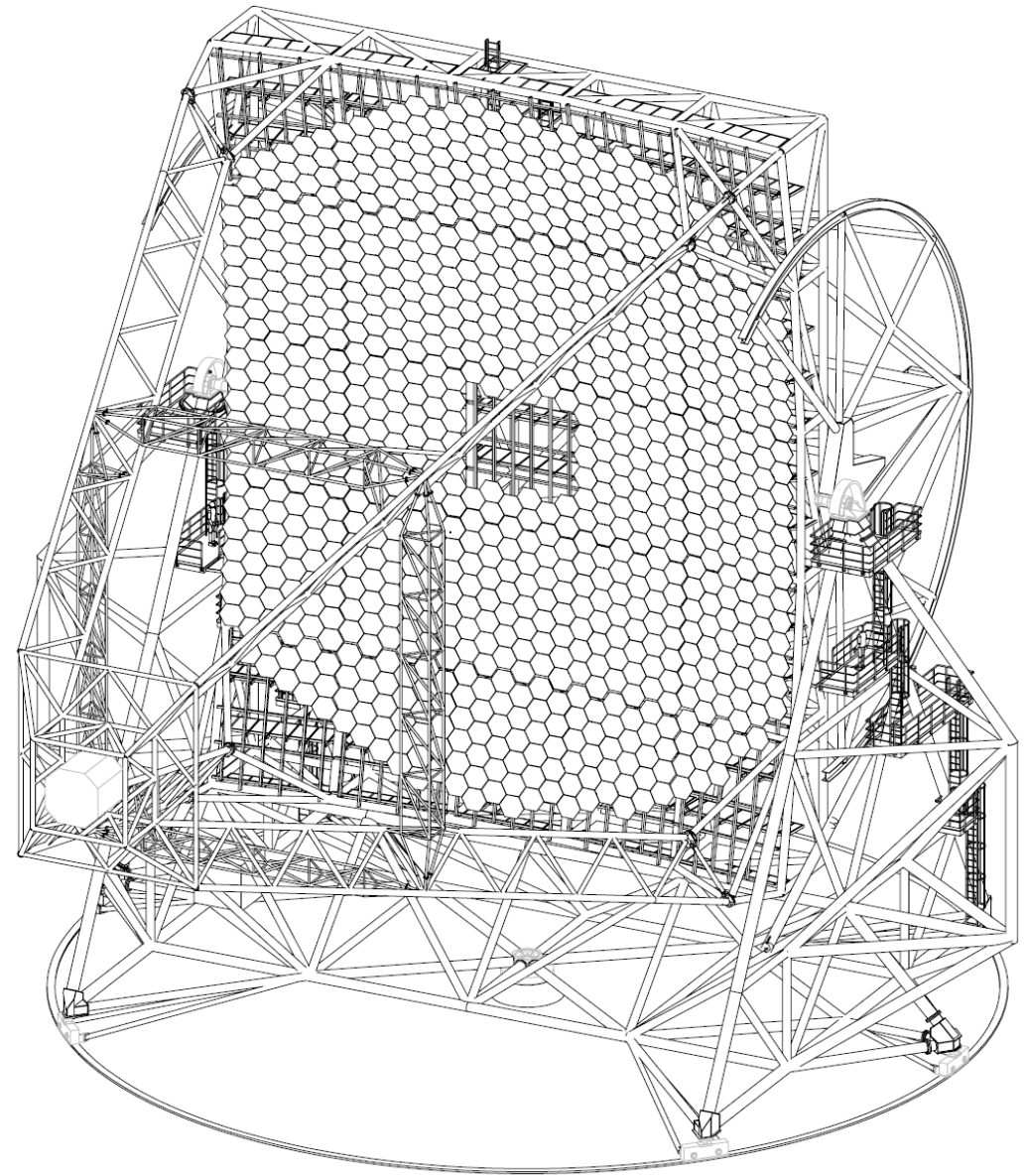
B night-sky noise

Δt integration window

- A big mirror area is needed



Choice to build a new $\sim 600 \text{ m}^2$
telescope (the biggest ever built)

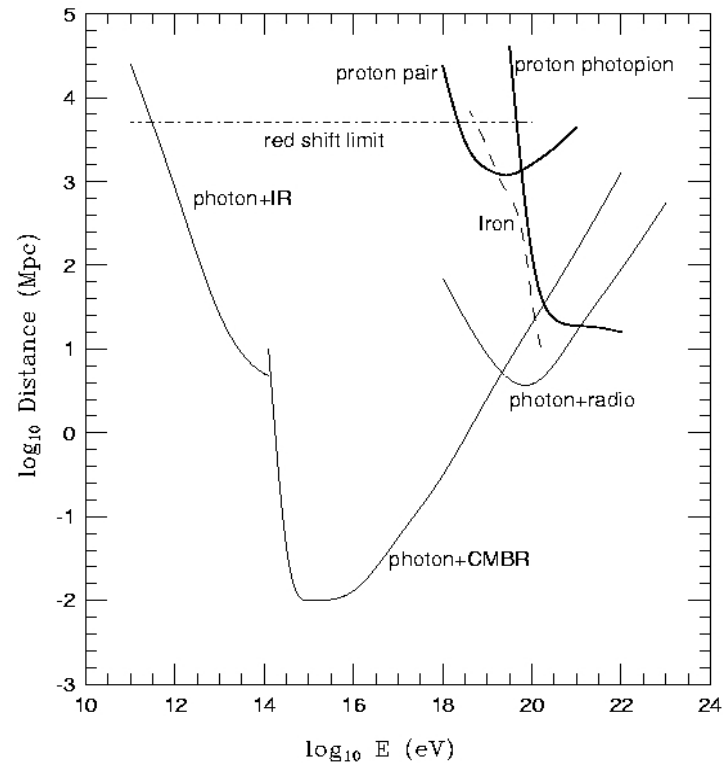


Advantage of lower threshold

Tiny absorption expected : access to more distant objects

Intrinsic source characteristics

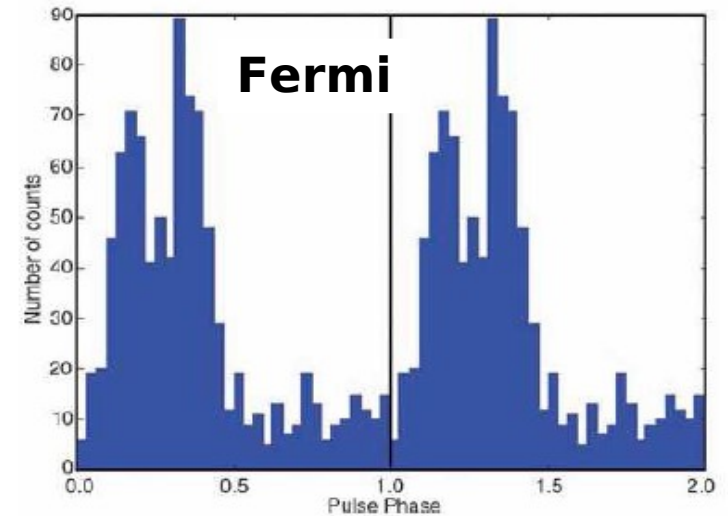
Stronger EBL / QG constraints



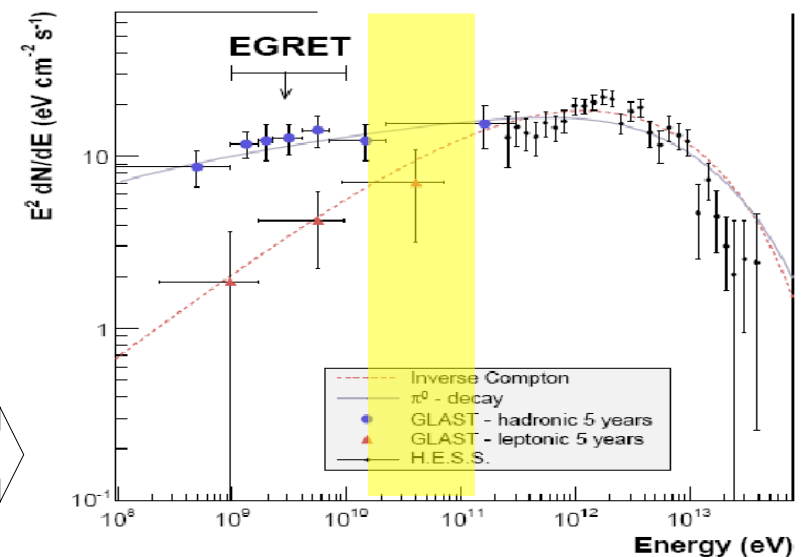
Could distinguish between hadronic and leptonic scenarios, for instance in the case of RXJ1713.7-3946 (SNR, binaries, ...)

Access to pulsar emission:

Polar cap vs. Outer gap vs. Striped wind

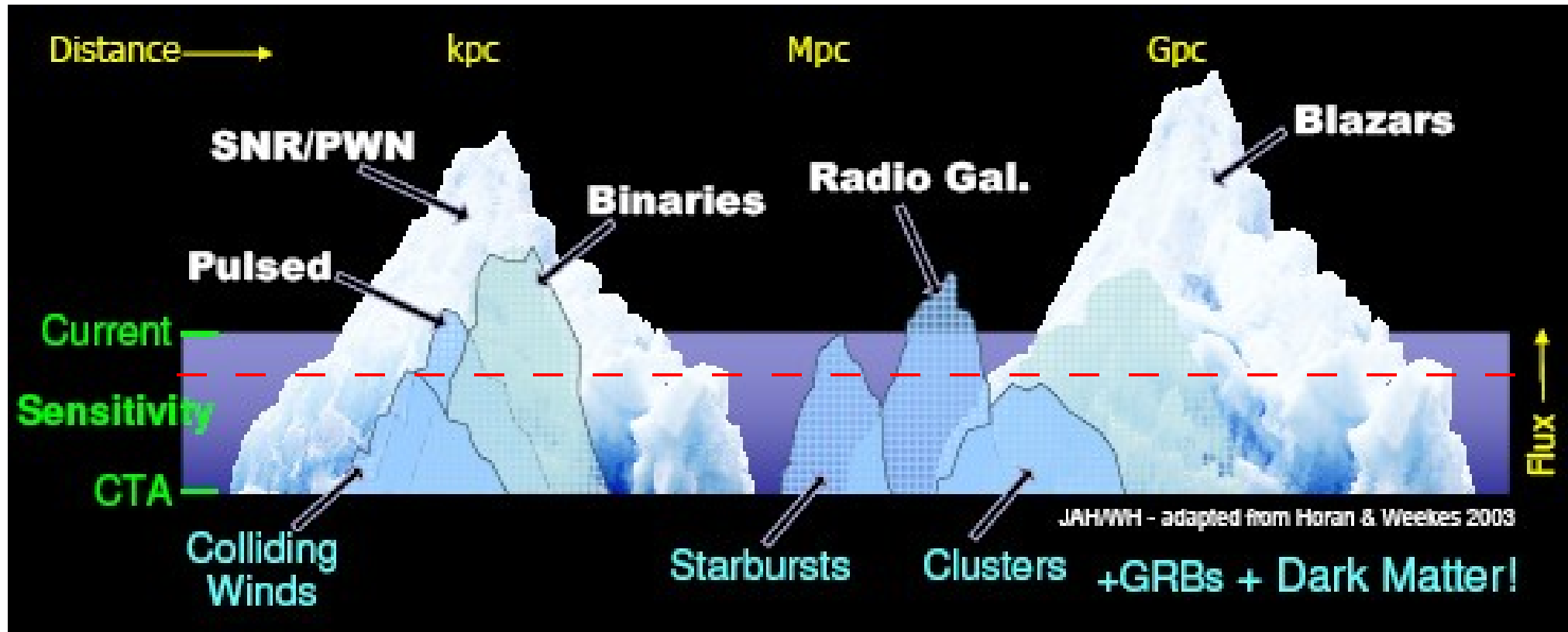


Predictions for Fermi



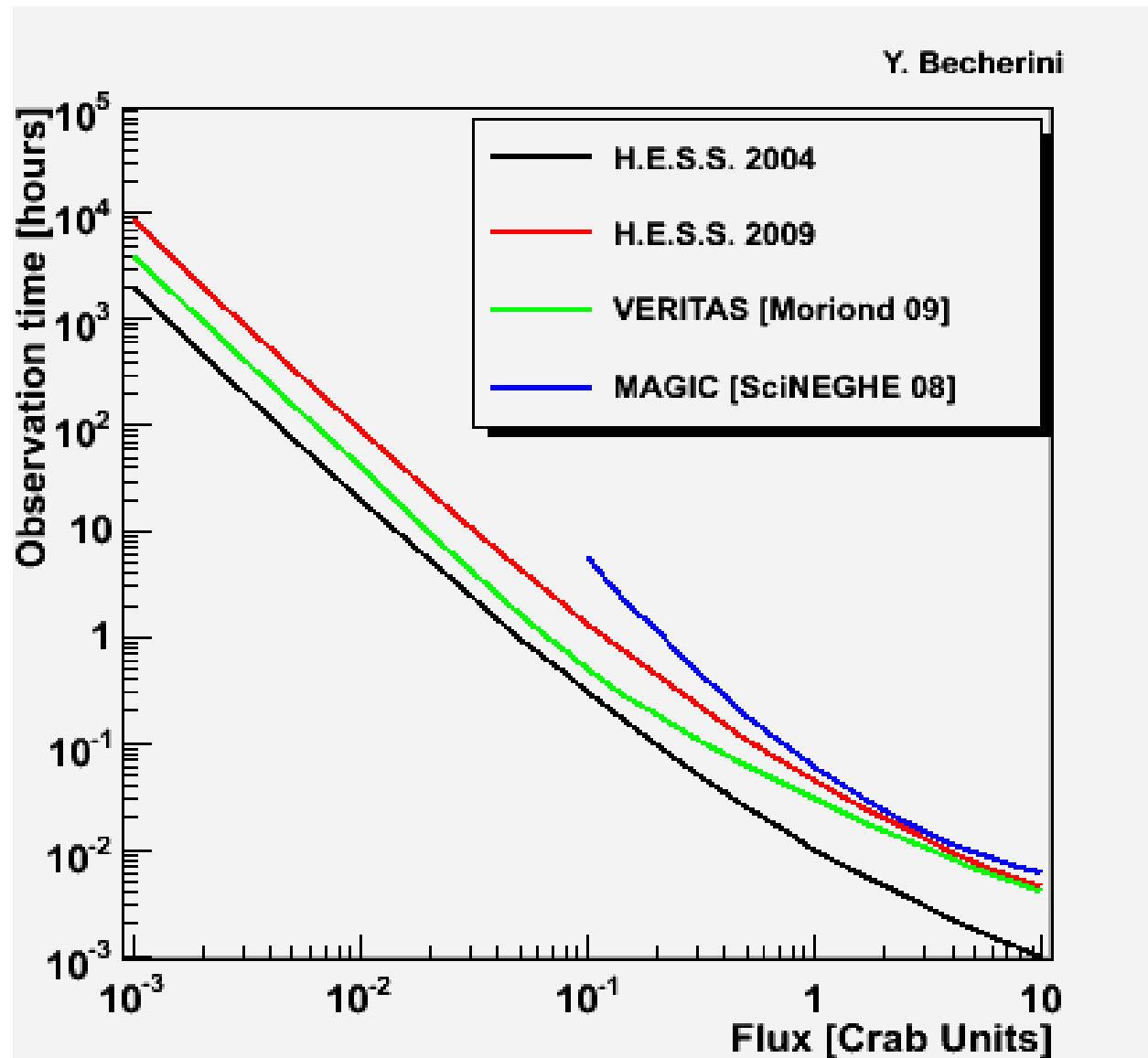
Scientific motivations for HESS-II: gain in sensitivity

- **Second goal:** enhance the sensitivity in the current energy domain **by a factor of 2**
- Access to various new phenomena, undetectable for the moment with the current instruments and the standard analysis methods
- Starburst galaxies and ULIRG have a predicted very high energy γ -ray flux which is slightly under the current sensitivities (upper limits are approaching the current theoretical predictions)
- No signal from the cluster of galaxies either (D. Nedbal)



0.01 Crab ~ 100 h 2009!
115 h Cen A, 130 h SN1006

La ré-aluminisation des miroirs de H.E.S.S. est prévue pour le fonctionnement de HESS-II



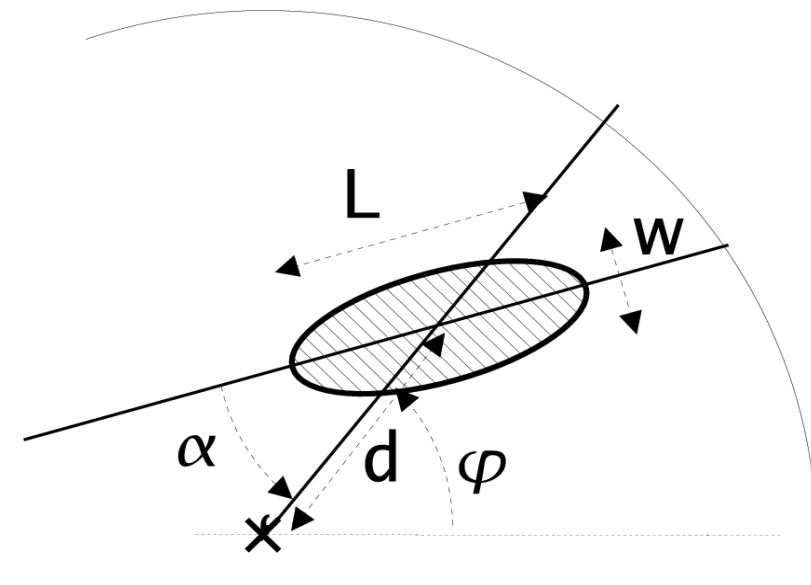
How to achieve these goals: HESS-II



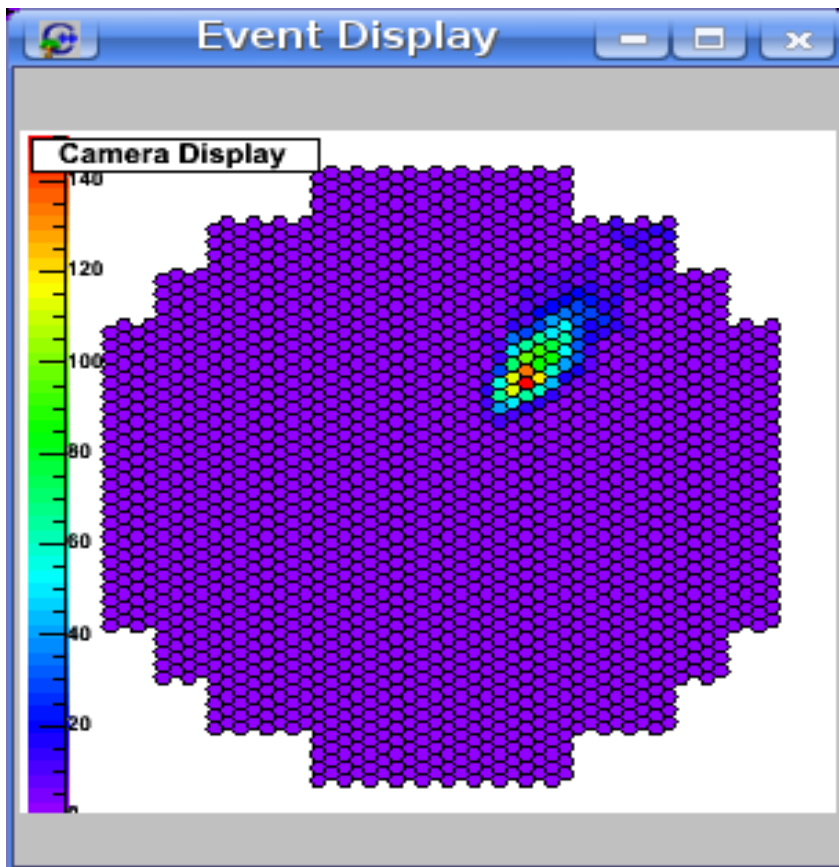
- Parabolic mirror, surface of 596 m^2 , focal length = 36 m
- High resolution camera 2048 pixels (0.07°)
- 3.5° FoV
- Automatic procedure for focusing on the shower maximum
- Installation of the telescope end 2009
- Data taking runs in the upgraded configuration for 2010

A preliminary estimate of the performance at low energy [30-100 GeV]

- Simulations with 100% efficiency in the H.E.S.S. telescopes
- From stereo back to MONO !!
- Low energy single telescope reconstruction:
1 electron for every 1 GeV at shower max.
- Images at 30 GeV → only few pixels available
- As soon as a even a small image is present in a second small telescope → turn on the stereo reconstruction (more efficient)

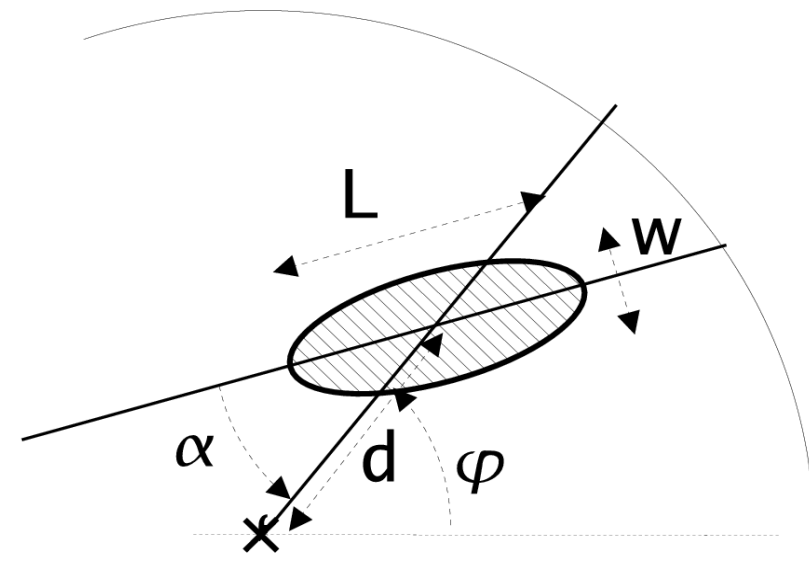


- “Hillas” based analysis on the events hitting the HESS-II telescope only
- The image given by a γ has an elliptical shape
- No stereoscopy = no direct geometrical source position estimate
 - Estimate of the source position (via parametrisation or NN) and calculation of the shower kinematic parameters
- No timing yet (in this analysis)

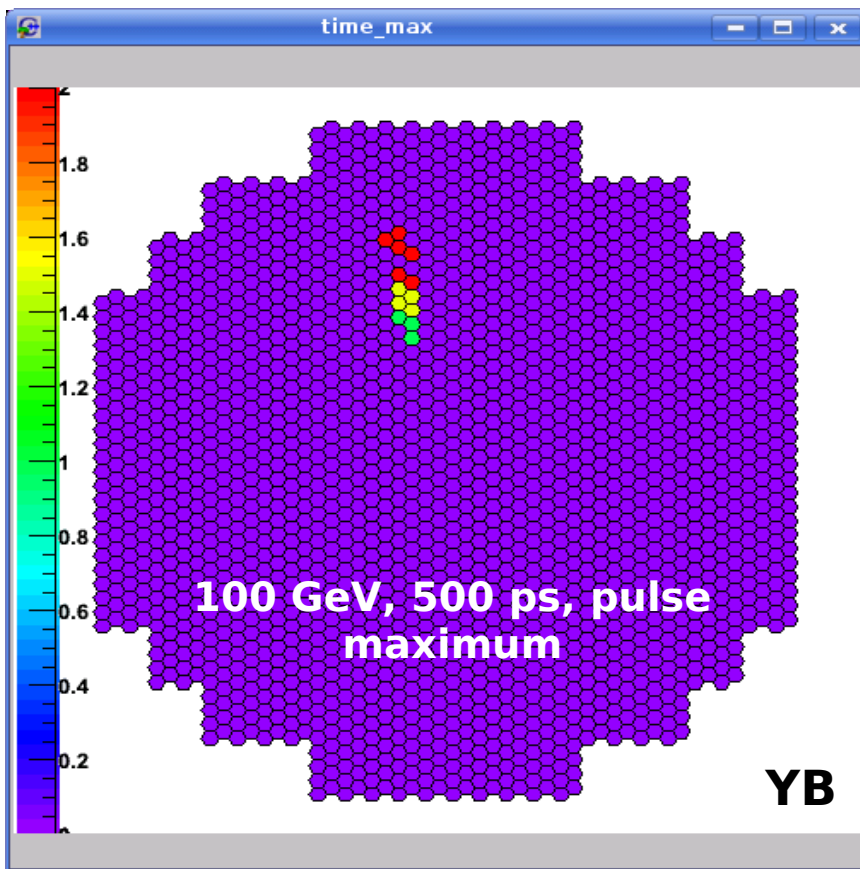


A preliminary estimate of the performance at low energy [30-100 GeV]

- Simulations with 100% efficiency in the H.E.S.S. telescopes
- From stereo back to MONO !!
- Low energy single telescope reconstruction:
1 electron for every 1 GeV at shower max.
- Images at 30 GeV → only few pixels available
- As soon as a even a small image is present in a second small telescope → turn on the stereo reconstruction (more efficient)



- “Hillas” based analysis on the events hitting the HESS-II telescope only
- The image given by a γ has an elliptical shape
- No stereoscopy = no direct geometrical source position estimate
 - Estimate of the source position (via parametrisation or NN) and calculation of the shower kinematic parameters
- No timing yet (in this analysis)



Analysis cuts for the analysis in the [30-100 GeV] range

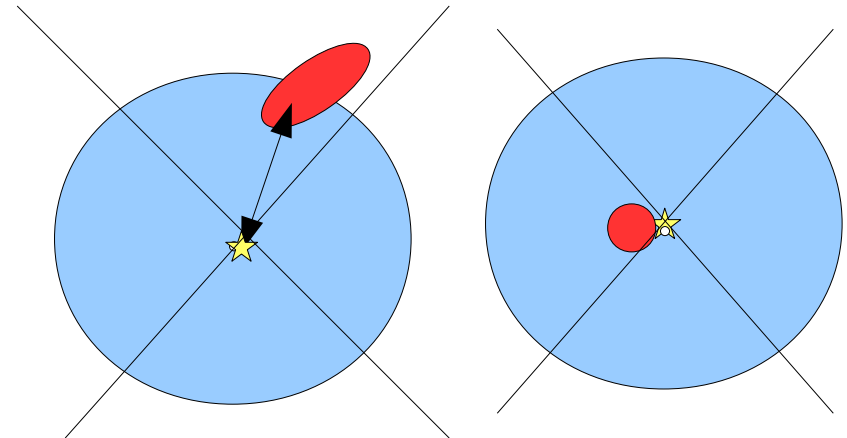
- Hadron rejection cut with Fisher algorithm in TMVA (more MVA algorithms are being tested by the analysis WG)
 - Input: nominal distance, Hillas length & width, total charge in the event



CUT : Fisher response > 0.1

Currently 70% efficiency on signal, 18% on bkg

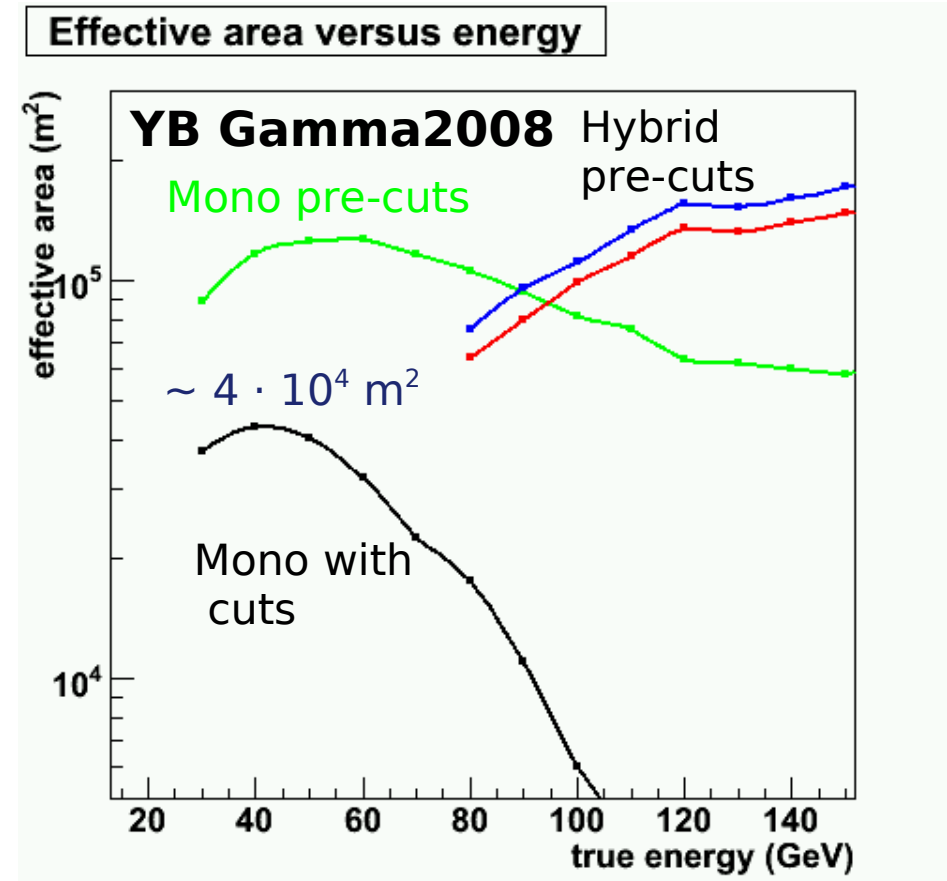
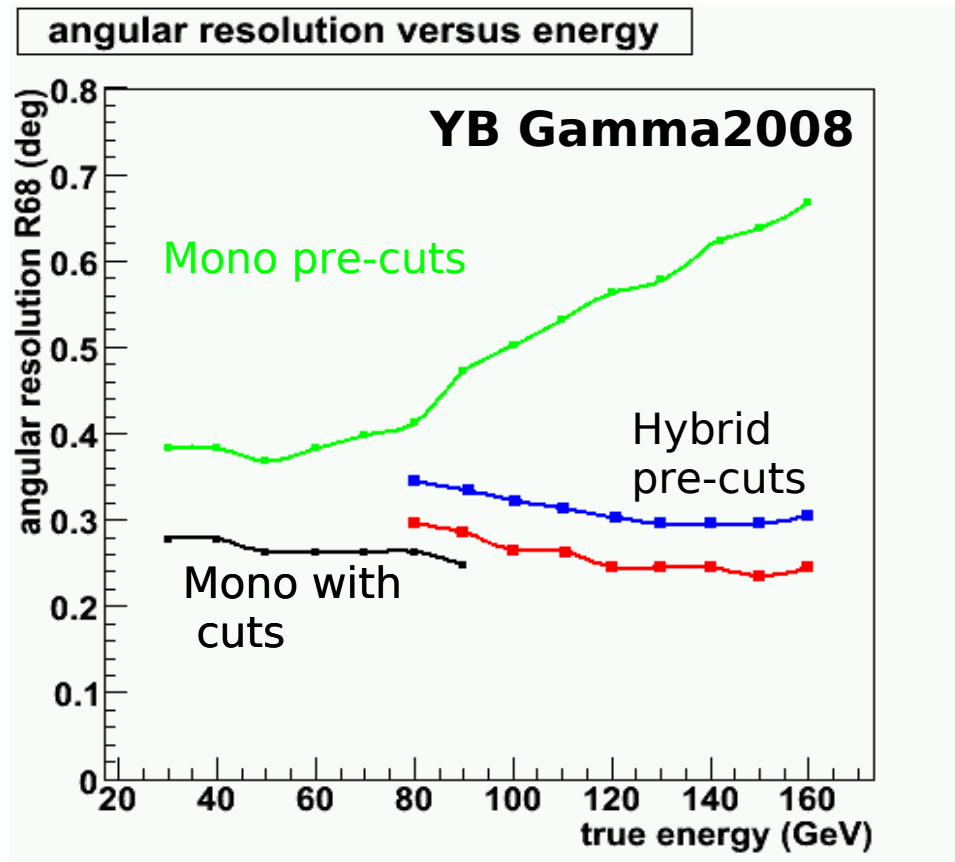
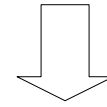
- Image shape cut
 - Reject events at the border of the camera or too close to the source direction (round images)



$0.45^\circ < \text{Nominal distance} < 1^\circ$

Expected preliminary mono-telescope performance

- **Angular resolution** between 0.28° and 0.24° as a function of the energy
- Additional cut on the angular resolution
 - $\Theta^2 < 0.13 \text{ deg}^2$



- Energy estimate through Neural Networks :
 - the **energy resolution** varies from 40% to 10% as a function of the energy,
 - the **bias** spans from +40% to -40% (further work needed!)

Cherenkov Telescope Array

**An advanced facility
for ground-based gamma-ray astronomy**

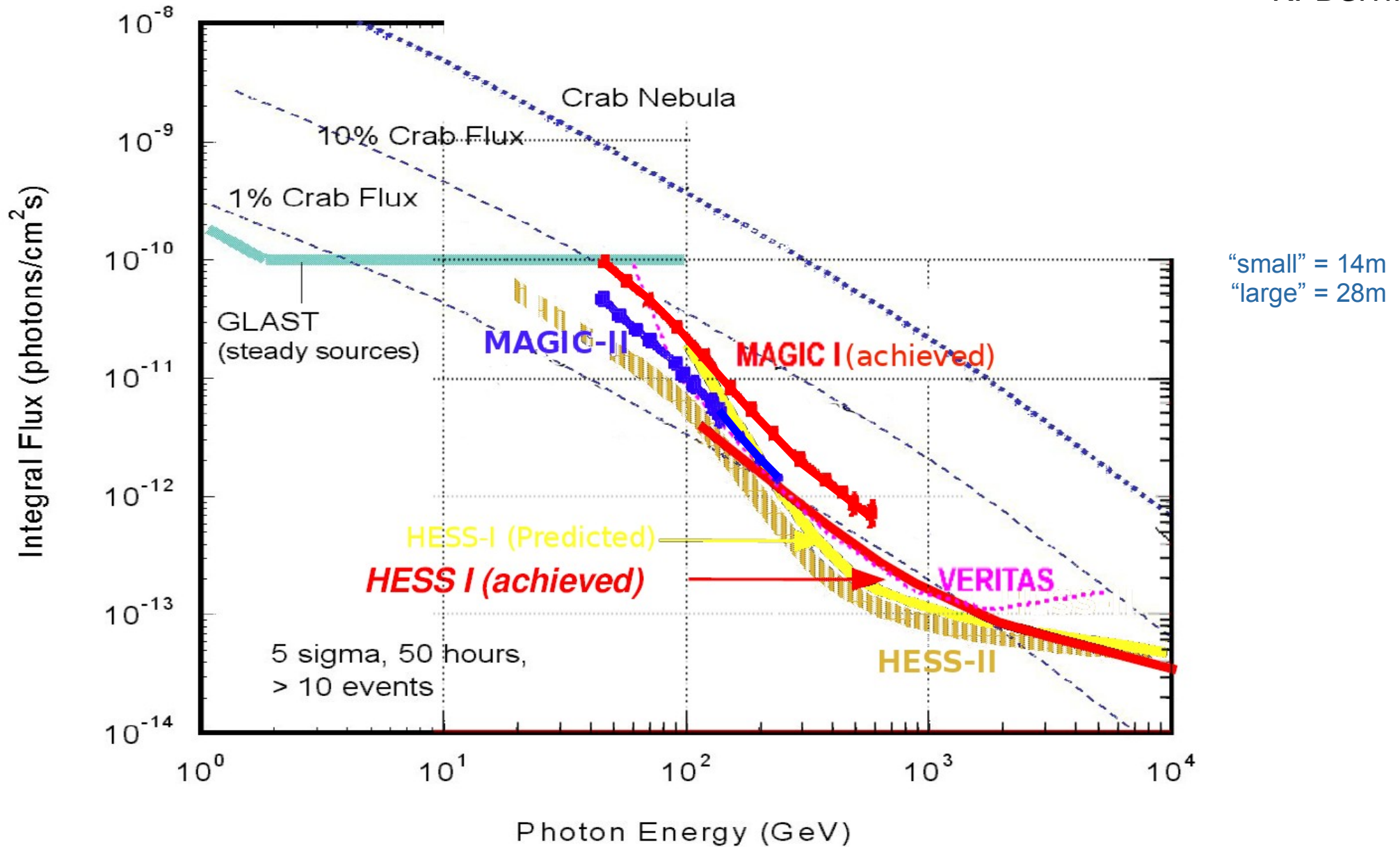


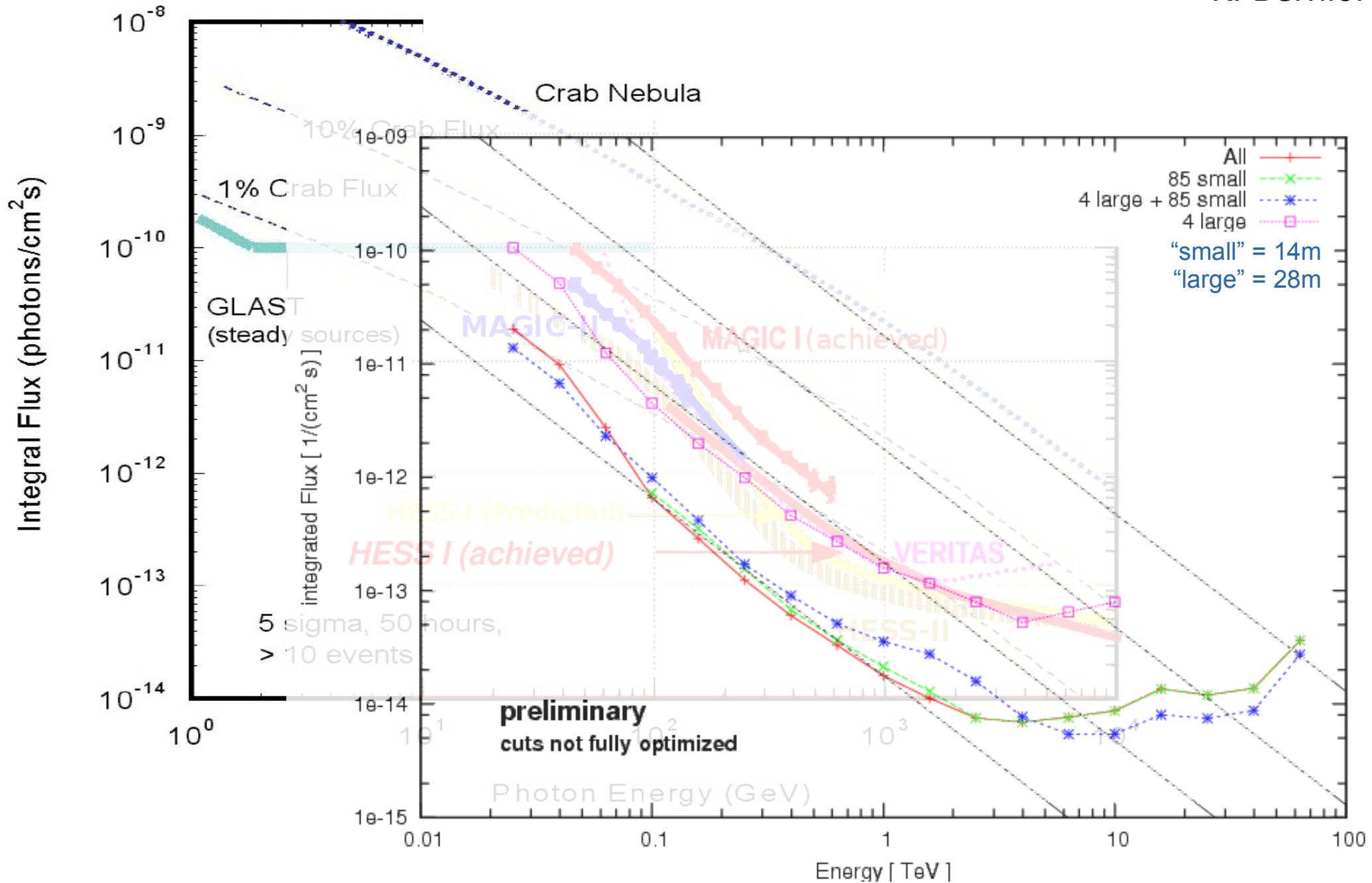


**Section principale de télescopes de 10 m
sur une surface de 1 km²
[100 GeV-10 TeV]**

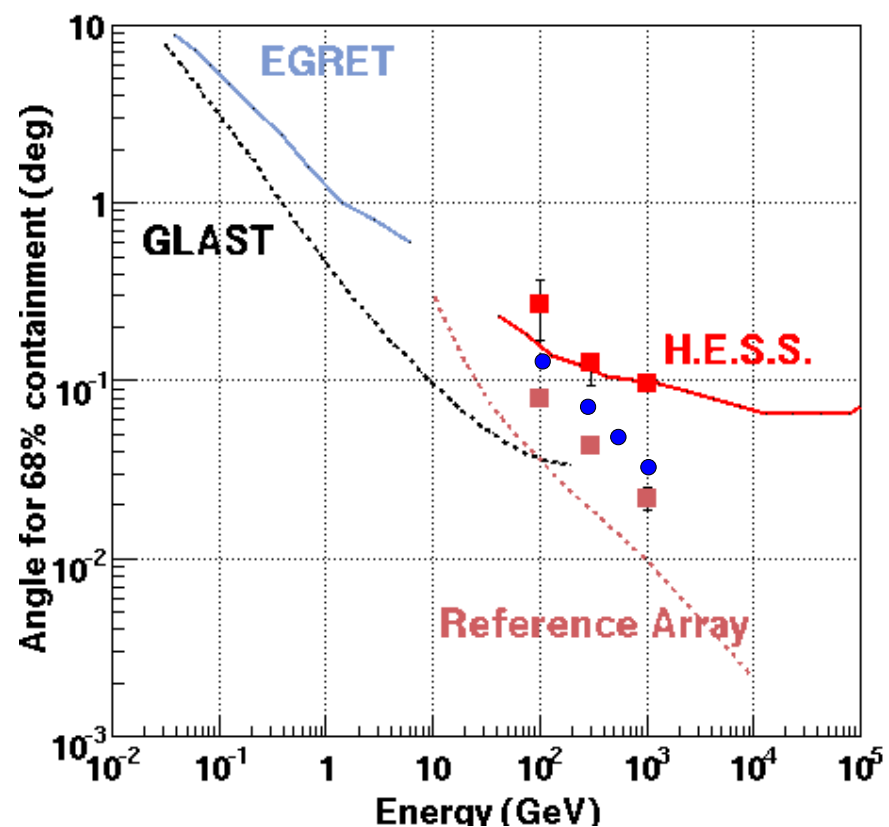
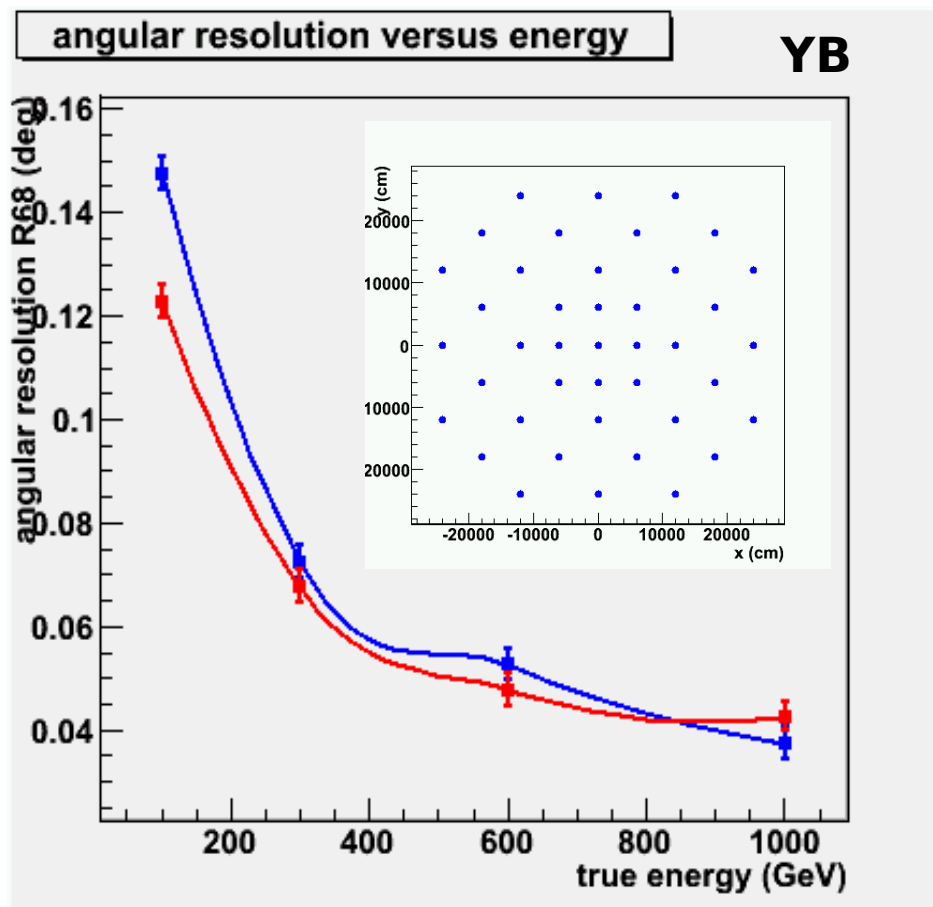
**Section de basse énergie
[<100 GeV]
Ex : 4 x 30 m**

**Section de haute énergie :
halo de ~ 20 télescopes sur
une surface de 10 km²
[> 10 TeV]**





Cleaning 5/10, Blue Hillas,
no cuts Red Model3D



- Avec sa sensibilité et seuil plus bas CTA peut :
 - détecter et des AGN plus lointains et mettre des limites plus contraignantes sur le EBL
 - détecter et caractériser des sources plus faibles
 - sonder des échelles temporelles plus petites
 - mesurer plus précisément des spectres donnant des informations sur les processus dans l'émission des jets des AGN
- Avec la fine résolution angulaire CTA peut :
 - déterminer les contreparties des sources ponctuelles
 - fournir des cartes plus fines pour les études des corrélations
- Avec sa résolution angulaire et sa sensibilité CTA peut :
 - détecter la distribution et le spectre des rayons cosmiques dans la Galaxie
- Avec son intervalle spectral plus important CTA peut :
 - mesurer les spectres et les cut-offs

A peu près 1000 sources attendues par CTA

Conclusions sur le futur de l'astronomie gamma

- Grand potentiel de découverte avec **HESS-II**
- Résultats attendus sur :
 - La détection des AGNs lointains
 - La détection des pulsars γ
 - Distinguer entre les modèles leptoniques et hadroniques dans plusieurs classes de sources
- Pourrait donner des résultats sur les sources actuellement sous le seuil de sensibilité grâce à au gain en sensibilité en mode stéréo
- Construction en cours
- Nouvelles méthodes d'analyse pour les basses énergies et pour la configuration hybride sont en développement
- Premières données pour 2010
- Résultats attendus rapidement dès la première lumière
- **CTA** est le projet de l'avenir en astronomie gamma
- Avec ses performances CTA pourra se permettre un vaste programme scientifique afin de mieux comprendre les phénomènes cosmiques de très haute énergie
- Le projet est reconnu par les roadmaps européennes et françaises
- Il y a une bonne base d'équipes en France qui sont engagées sur plusieurs fronts : analyse, études Monte Carlo, électronique, miroirs, caméras
- Premiers prototypes pour 2011-2012
- Début construction 2013