



# Astronomie gamma et CTA

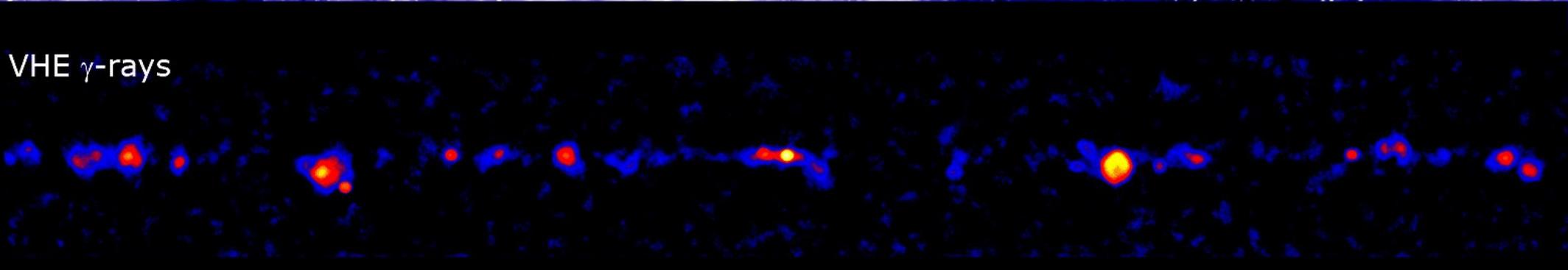
Infrared



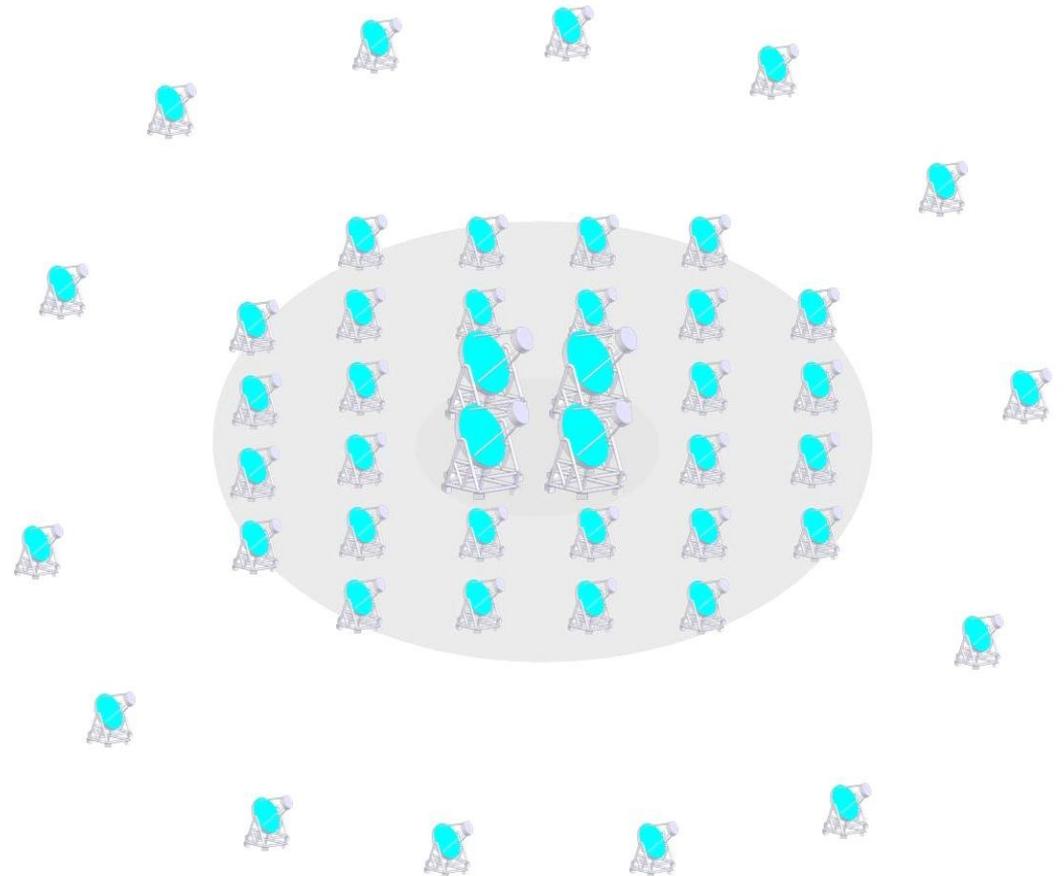
Optical



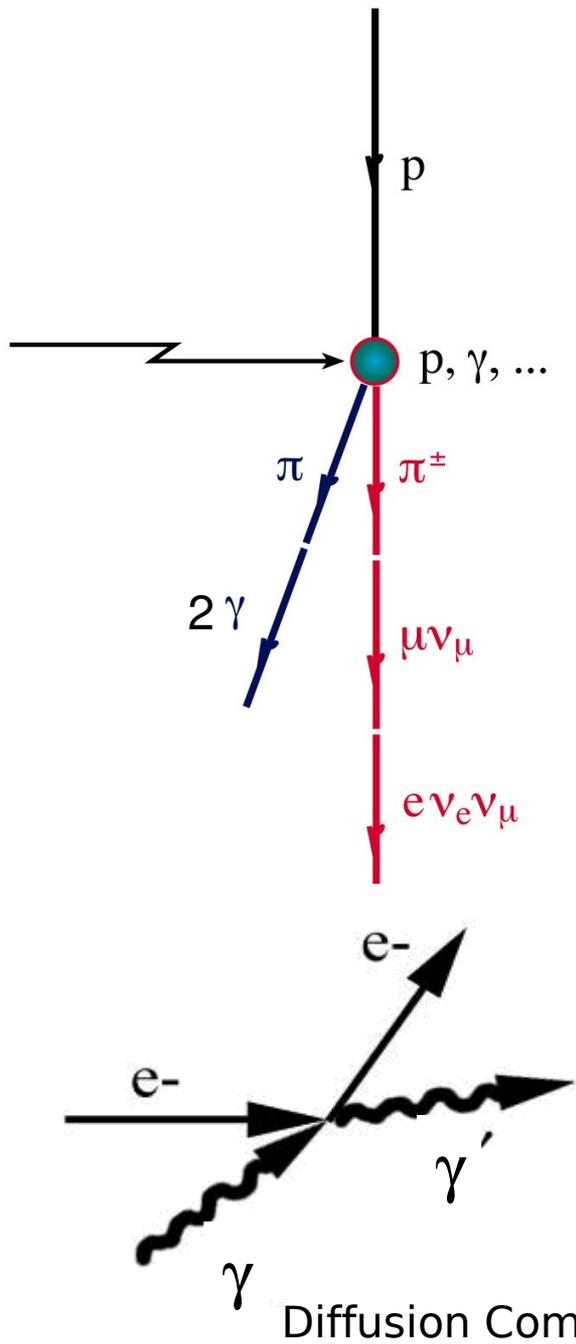
VHE  $\gamma$ -rays



- Les  $\gamma$  de haute énergie : un accès direct aux phénomènes cosmiques de haute énergie
- L'astronomie  $\gamma$  au sol : l'imagerie Tcherenkov
- H.E.S.S.
- H.E.S.S. Phase II
- Perspectives : CTA



# Mécanismes hadroniques ou purement leptoniques ?



Diffusion Compton Inverse

Mécanismes d'accélération des rayons cosmiques :

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 les  $\gamma$  sont créés à partir d'électrons : corrélation avec le rayonnement synchrotron

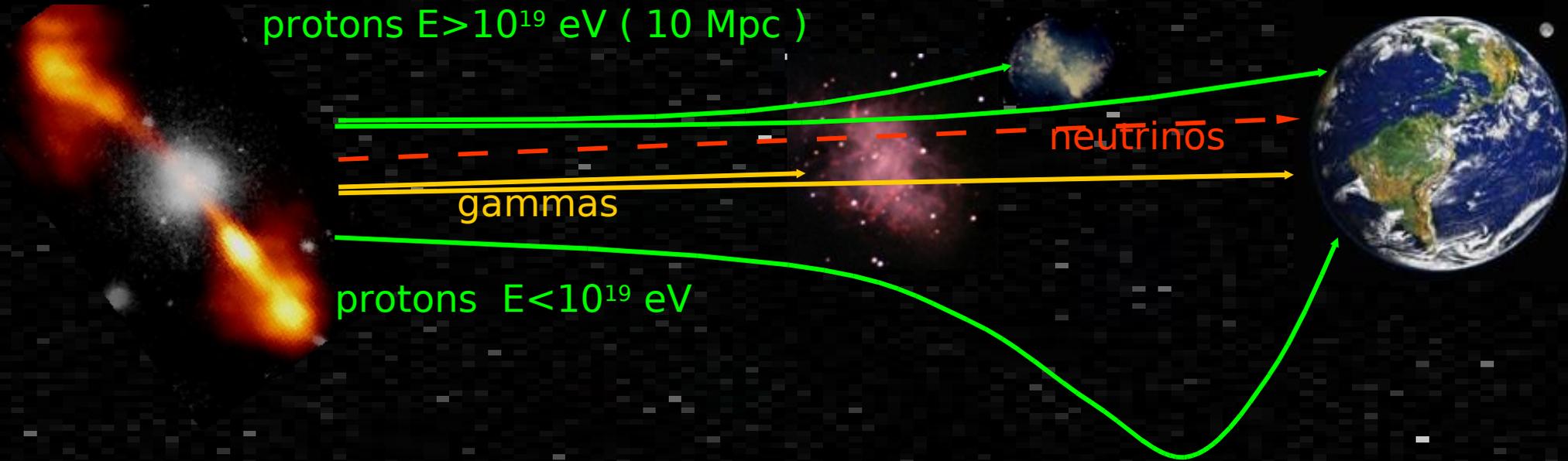
Electrons au TeV  $\rightarrow$  Rayons X

Electrons au GeV  $\rightarrow$  Ondes radio

Si les  $\gamma$  sont créés à partir de protons ou noyaux : corrélation avec le milieu interstellaire (nuages moléculaires par ex.)

Accélérateur  
cosmique

Nous



protons/nuclei:

Deviés par les champs magnetiques,  
Absorbés par fond diffus cosmologique (GZK)

photons:

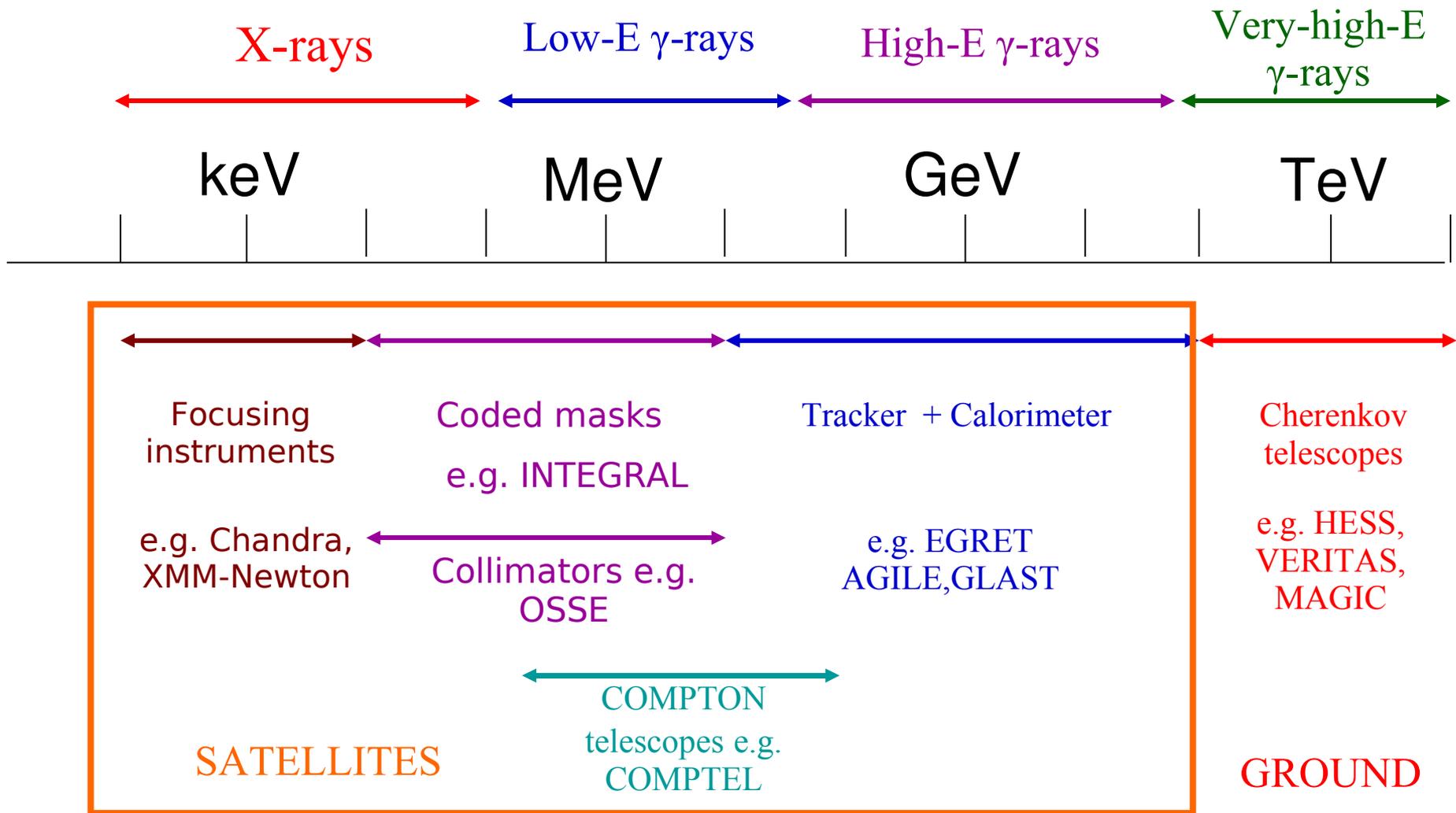
Absorbés par la poussière & fond diffus cosmologique

neutrinos:

Détection difficile

⇒ **Trois "astronomies" possibles...**

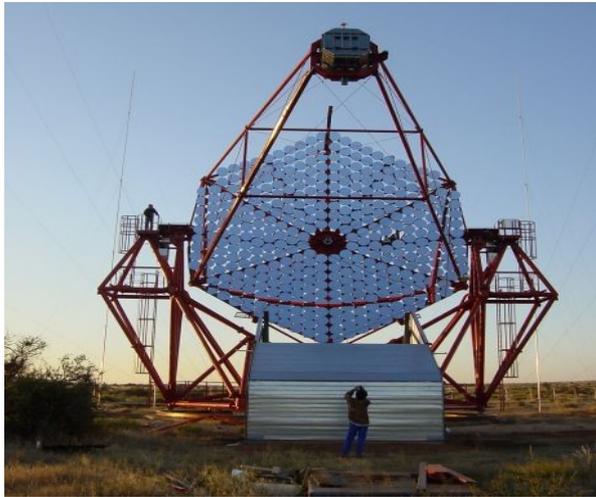
# Les techniques : des rayons X aux $\gamma$



# Détecteurs $\gamma$ de haute et très haute énergie

## High Sensitivity

HESS, MAGIC, CANGAROO,  
VERITAS



Energy Range .05-50 TeV  
Area  $> 10^4 \text{ m}^2$   
Background Rejection  $> 99\%$   
Angular Resolution  $0.05^\circ$   
Aperture  $0.003 \text{ sr}$   
Duty Cycle  $10\%$

High Resolution Energy Spectra  
Studies of known sources  
Surveys of limited regions of sky

## Low Energy/Large Aperture

EGRET/GLAST



Energy Range 0.1-100 GeV  
Area:  $1 \text{ m}^2$   
Background Free BUT diffuse  
Angular Resolution  $0.1^\circ - 0.3^\circ$   
Aperture  $2.4 \text{ sr}$   
Duty Cycle  $> 90\%$

Unbiased Sky Survey ( $< 100 \text{ GeV}$ )  
Extended Sources  
Transients (AGN, GRBs)  $< 100 \text{ GeV}$   
Simultaneous Observations

## Large Aperture/High Duty Cycle

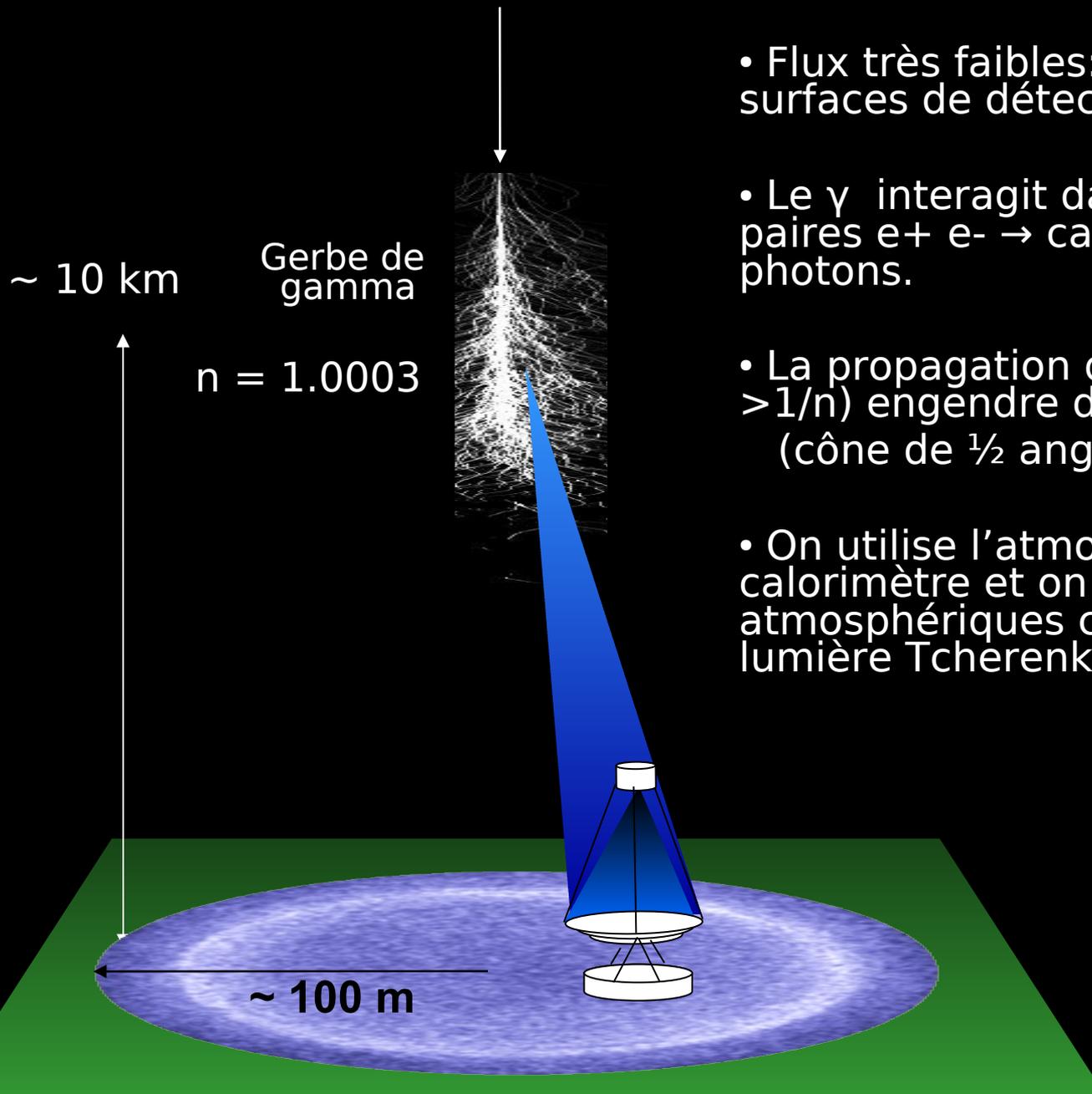
Milagro, Tibet, ARGO, HAWC



Energy Range 1-100 TeV  
Area  $> 10^4 \text{ m}^2$   
Background Rejection  $> 95\%$   
Angular Resolution  $0.3^\circ - 0.7^\circ$   
Aperture  $> 2 \text{ sr}$   
Duty Cycle  $> 90\%$

Unbiased Sky Survey  
Extended Sources  
Transients (GRB's)  
Simultaneous Observations

# Détection de gammas par les techniques Tcherenkov atmosphériques



- Flux très faibles: nécessité de grandes surfaces de détection ( $>30\,000\text{ m}^2$ )
- Le  $\gamma$  interagit dans la haute atmosphère  $\rightarrow$  paires  $e^+ e^- \rightarrow$  cascade d'électrons et de photons.
- La propagation des  $e^\pm$  ultra-relativistes ( $v/c > 1/n$ ) engendre de la lumière Tcherenkov. (cône de  $\frac{1}{2}$  angle  $\sim 1^\circ$  près du sol)
- On utilise l'atmosphère comme un grand calorimètre et on détecte les gerbes atmosphériques créées par les  $\gamma$  par leur lumière Tcherenkov

Les techniques reposant sur la lumière Tcherenkov exigent des nuits claires sans lune → cycle utile < 10%

Un premier handicap : la lumière de fond de ciel fixe le seuil en énergie du détecteur.

$$E_{thr} \propto \left( \sqrt{A \epsilon / B \Omega \Delta t} \right)^{-1}$$

*A* mirror area, *Ω* angular size

*ε* photon detection efficiency

*B* night-sky noise

*Δt* integration window

L'éclair Tcherenkov ne dure que quelques nanosecondes → nécessité d'un temps d'intégration très court (phototubes et électronique rapides)

Efforts pour abaisser le seuil des détecteurs vers environ 20 GeV pour faire la jonction avec les satellites → CELESTE, MAGIC, HESS II

Le deuxième handicap (le principal) : les grandes gerbes de particules produites dans la haute atmosphère par les  $\gamma$  énergétiques représentent une aiguille dans la botte de foin des rayons cosmiques

Nécessité de distinguer les gerbes électromagnétiques (créées par des  $\gamma$ ) des gerbes hadroniques créées par des protons ou des noyaux

→ environ 30 ans d'efforts pour aboutir à la technique d'imagerie Tcherenkov

# Caractéristiques des gerbes

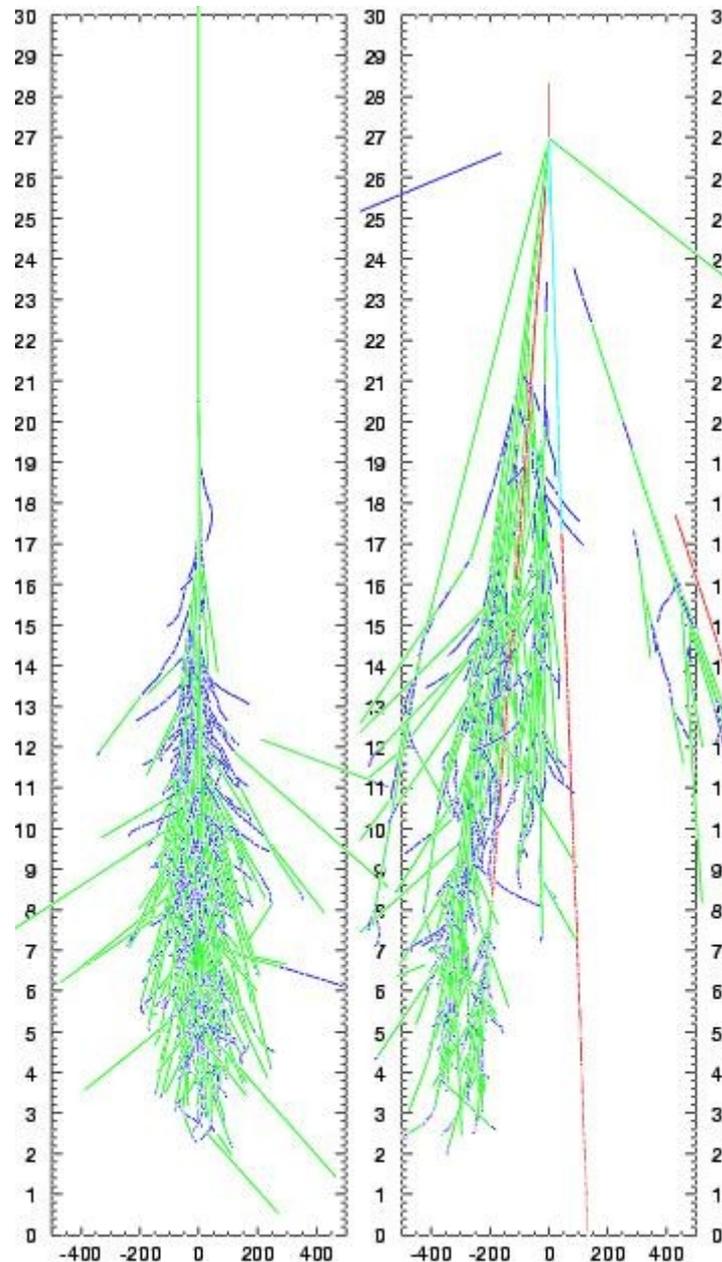
Une gerbe électromagnétique créée par un  $\gamma$

En moyenne symétrie de révolution

Petites impulsions transverses

Quasi-absence de muons

Essentiellement  $e^+$   $e^-$  et  $\gamma$  secondaires



Une gerbe hadronique créée par un proton

Grandes impulsions transverses

Présence de muons (désintégration des mesons)

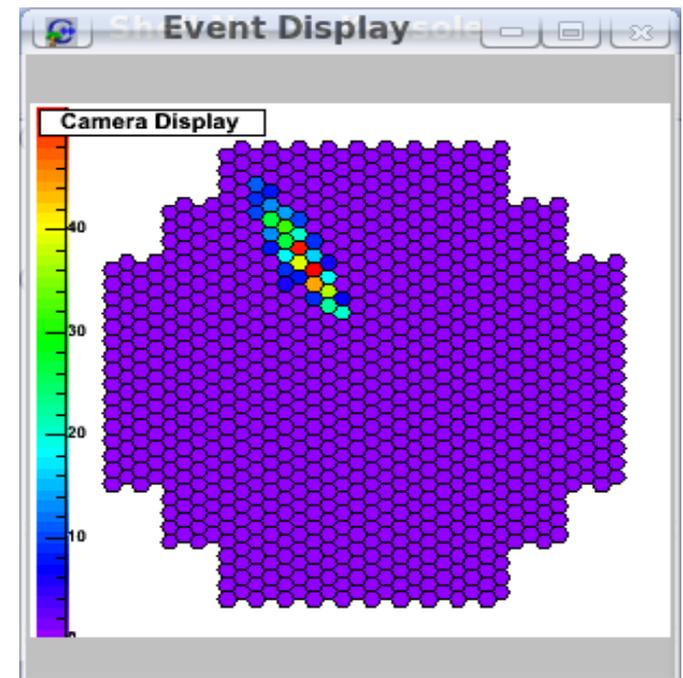
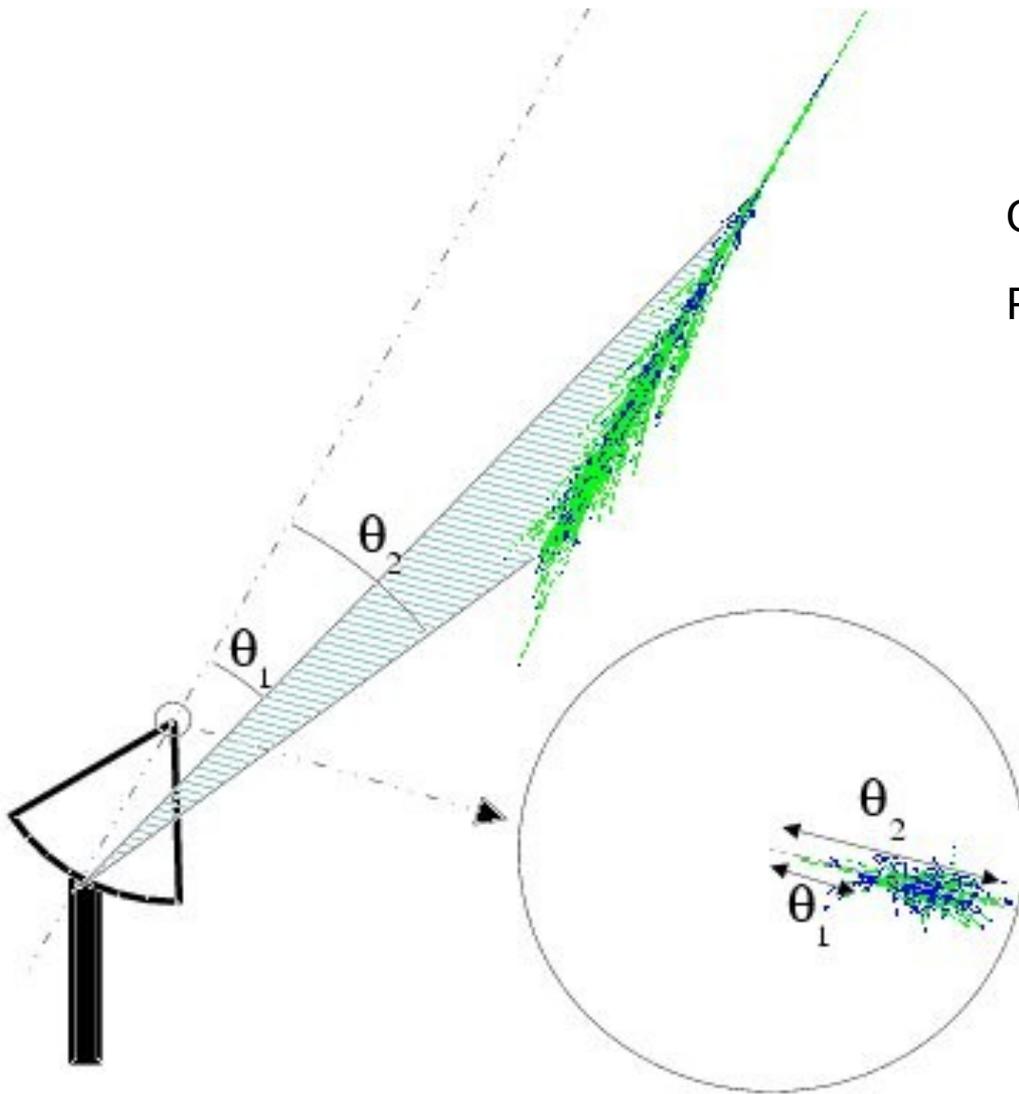
(en rouge sur la figure)

# L'imagerie Tcherenkov

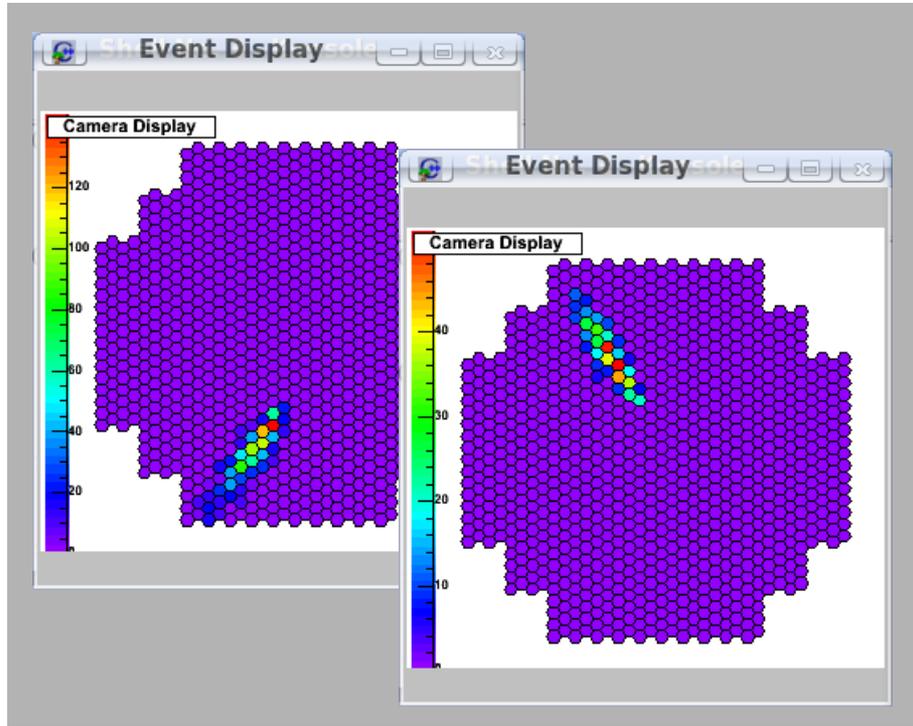
Former l'image de la gerbe dans le plan focal d'un grand télescope équipé d'une caméra composée de nombreux photomultiplicateurs.

Champ de vue de  $3^\circ$  à  $5^\circ$

Premier succès : T. Weekes et al. (Obs. Whipple) 1989 : détection de la nébuleuse du Crabe.



# L'imagerie Tcherenkov



Discrimination  $\gamma$ /hadron (A. M. Hillas 1989)

Forme de l'image

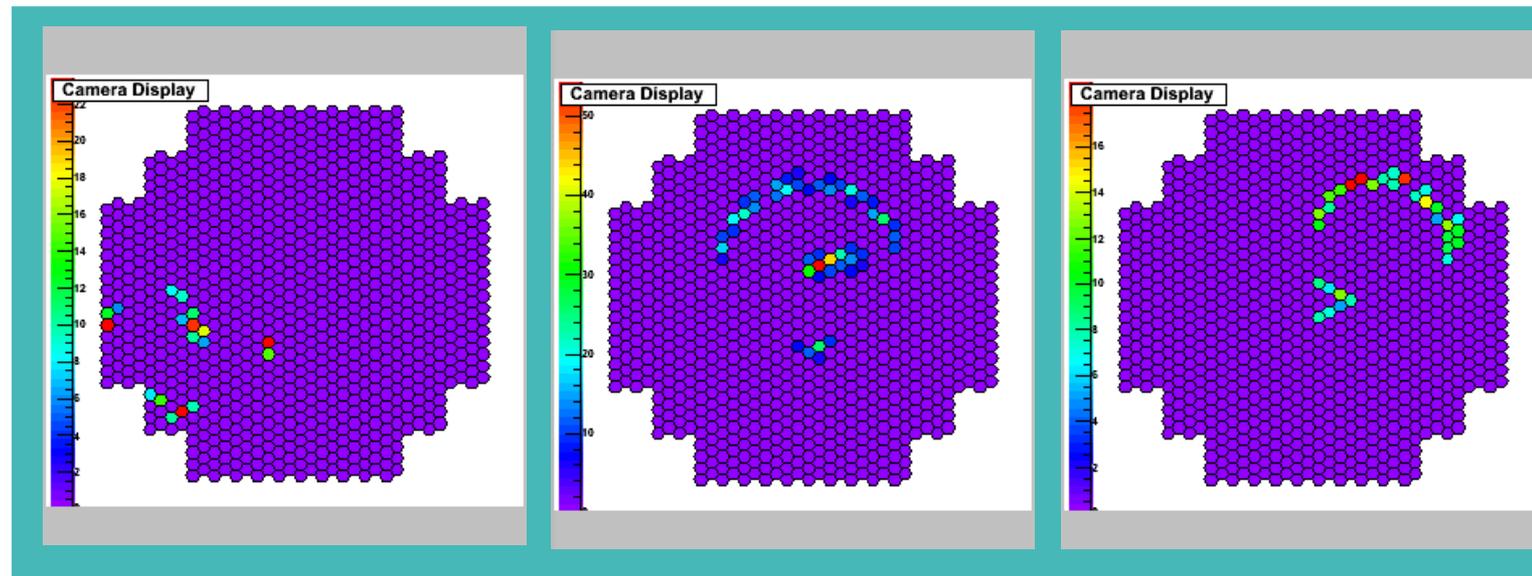
$\gamma$  : image elliptique allongée

Hadrons : image chaotique

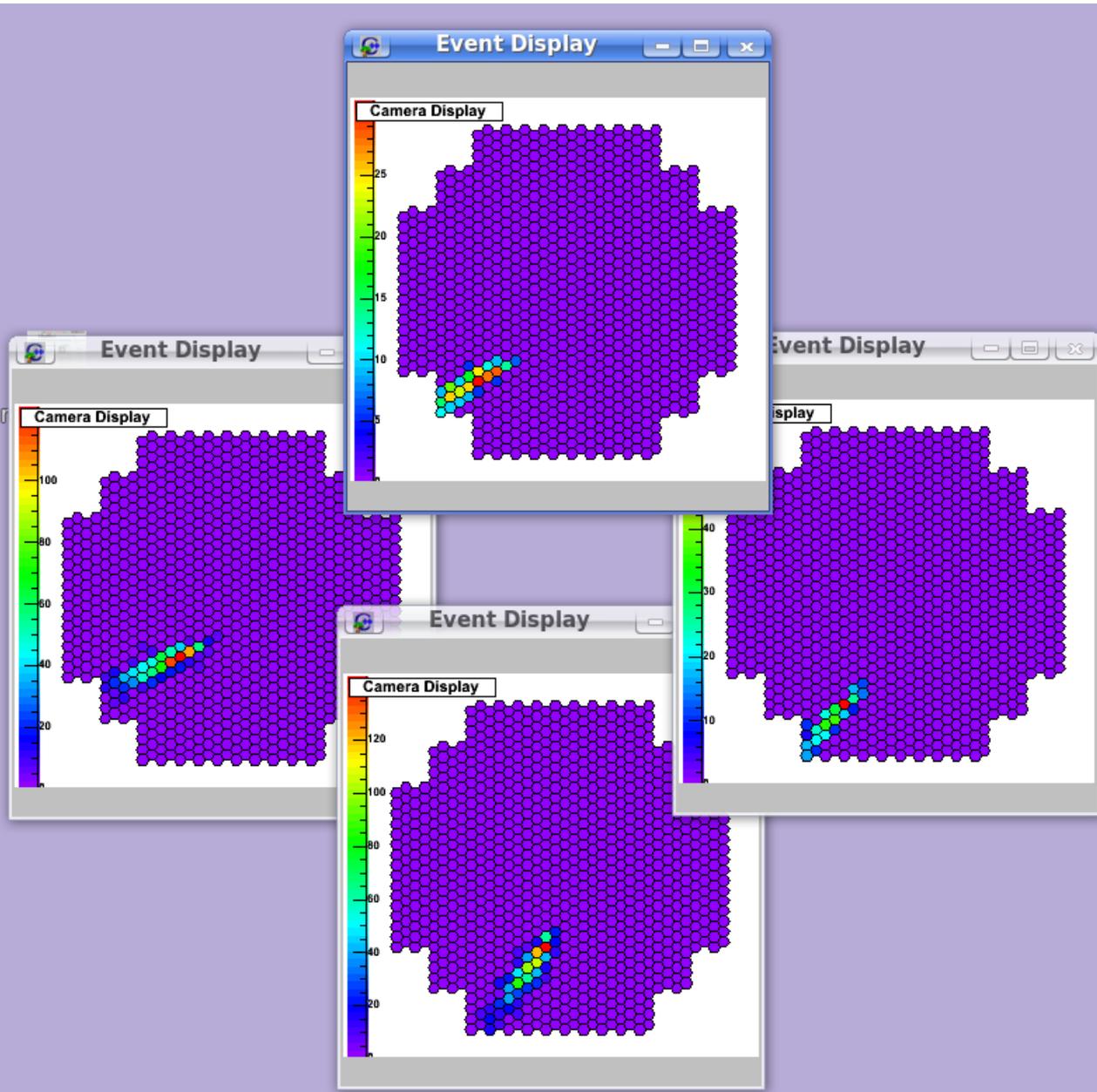
Direction principale de l'image (pour des sources ponctuelles)

Profil de lumière

→ distance de l'impact et énergie primaire



# L'imagerie Tcherenkov stéréoscopique



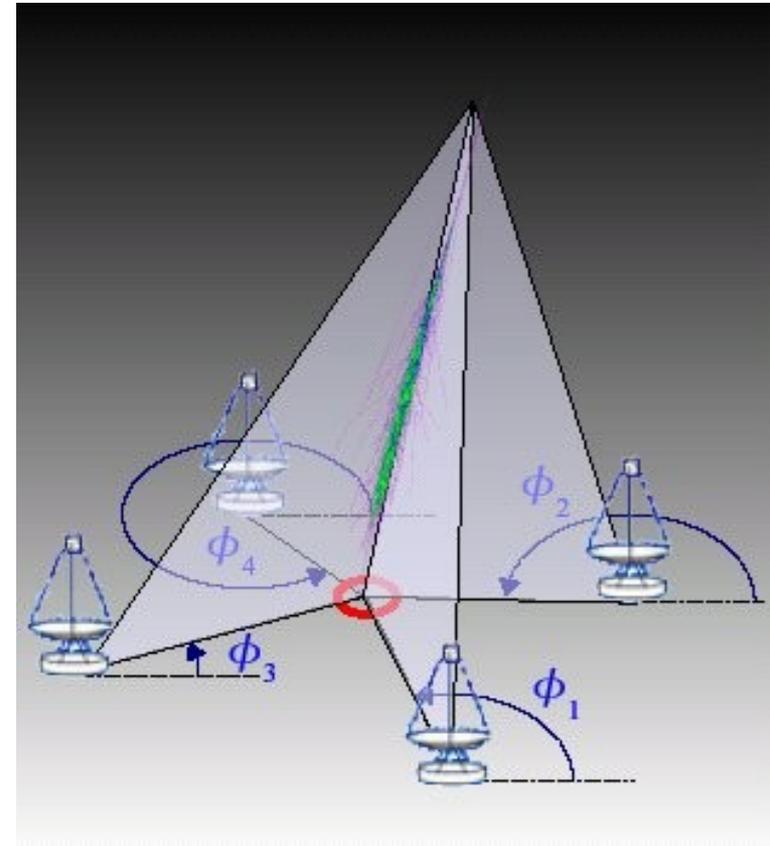
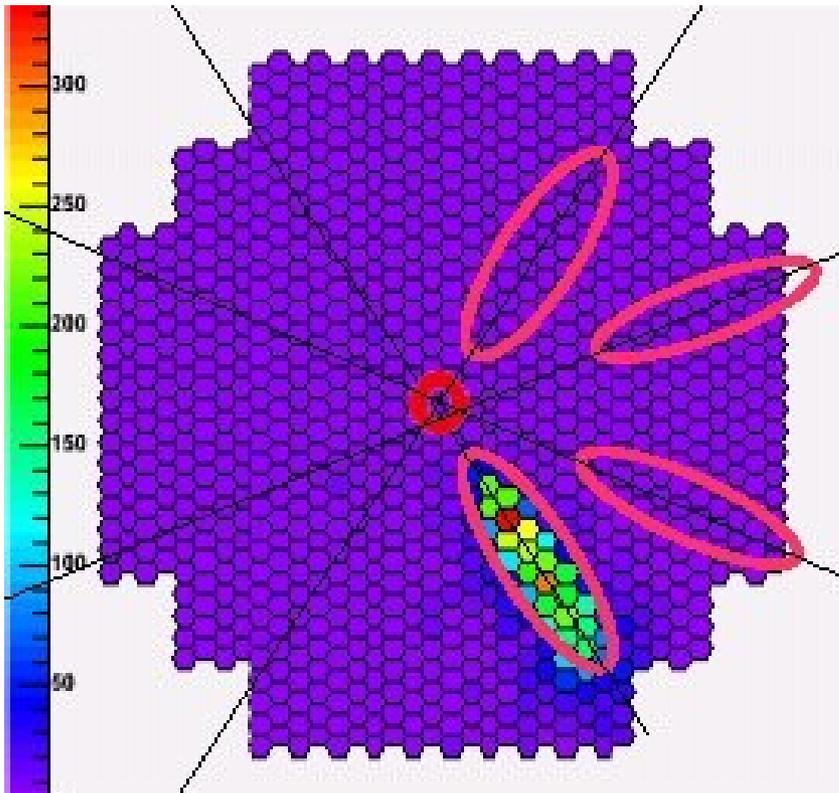
- Gerbes vues par plusieurs télescopes
- Grand facteur de rejet des hadrons
  - le trigger demande au moins 2 télescopes (rejet des muons isolés)
  - au niveau de l'analyse en suite 99% de rejection

Contrainte de symétrie de révolution

- Gain en résolution angulaire
- Gain en résolution en énergie

# Analyse stéréoscopique

- Mesure directe de **l'origine du  $\gamma$**  dans le champ de vue (important pour les sources étendues)
- Mesure directe de **l'impact au sol** (important pour la mesure de l'énergie)



Expérience	Nombre de télescopes	Diamètre du réflecteur (m)	Site
CANGAROO III	4	10	Australie
HESS-I/II	4 → 5	12 + 30	Namibie
MAGIC-I/II	1 → 2	17	Canaries
VERITAS	4	12	Arizona

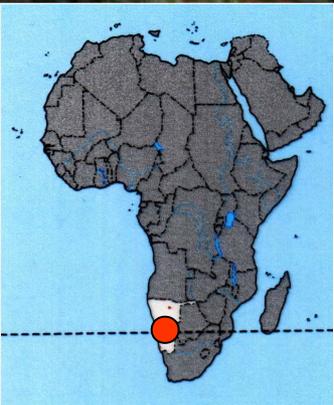
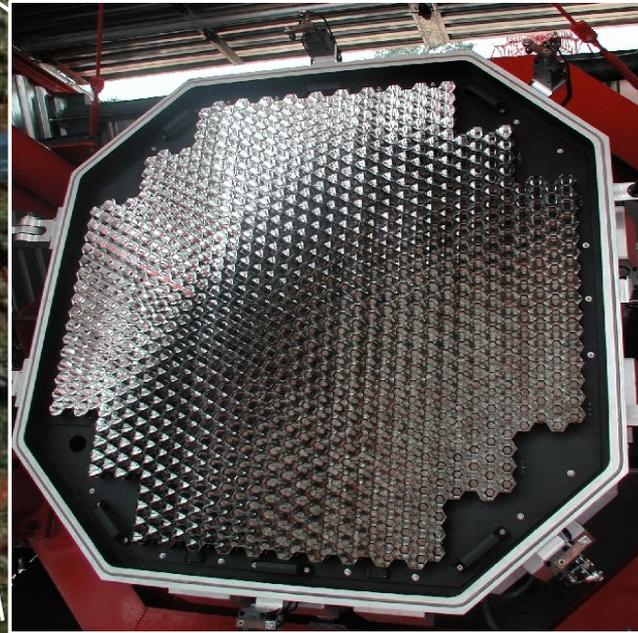
# The High Energy Stereoscopic System H.E.S.S.

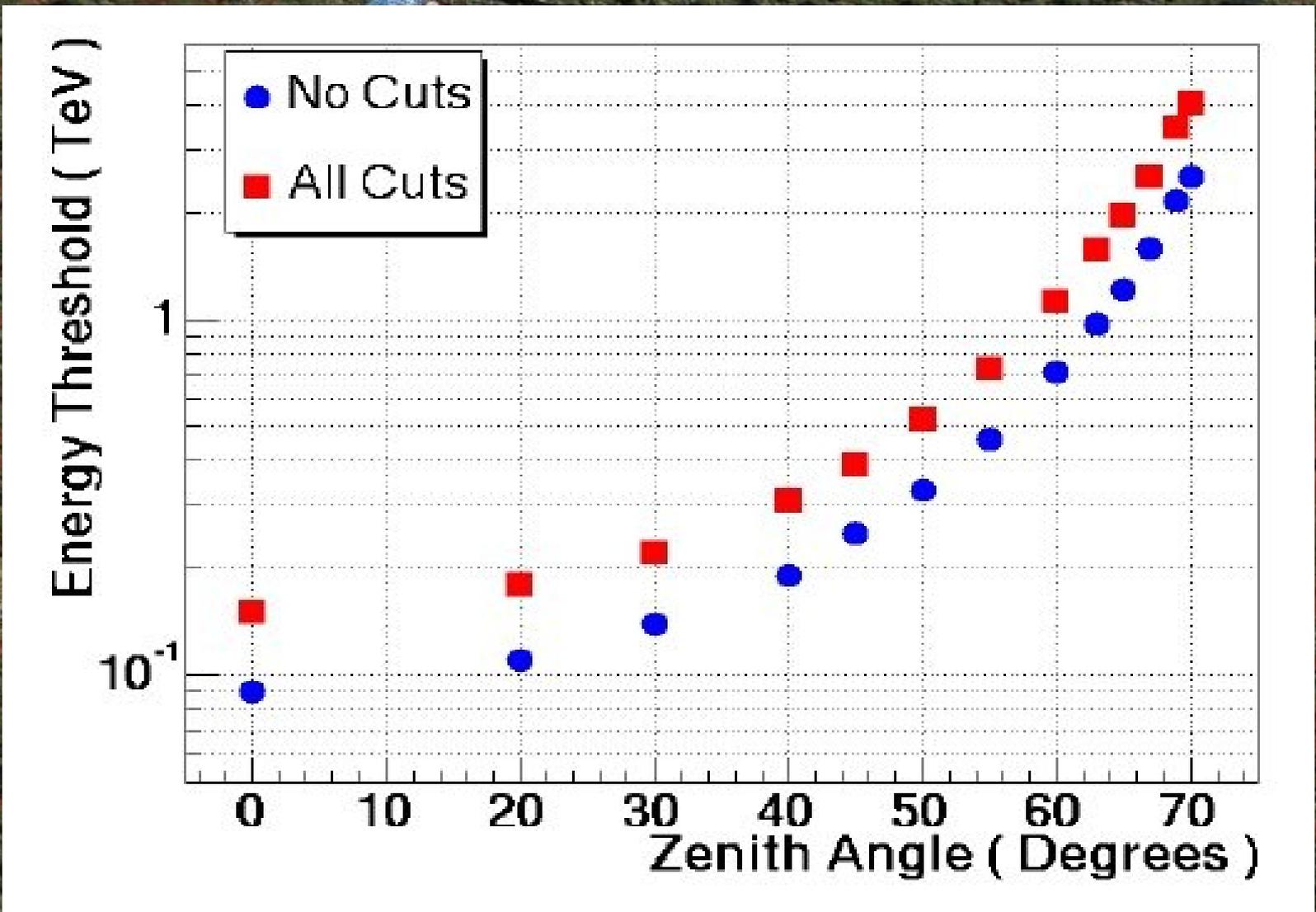
Situé en Namibie,  
23°S, 15°E  
Altitude : 1800 m

Surface d'un miroir :  
104 m<sup>2</sup> (d = 12 m)  
Longueur focale :  
15 m

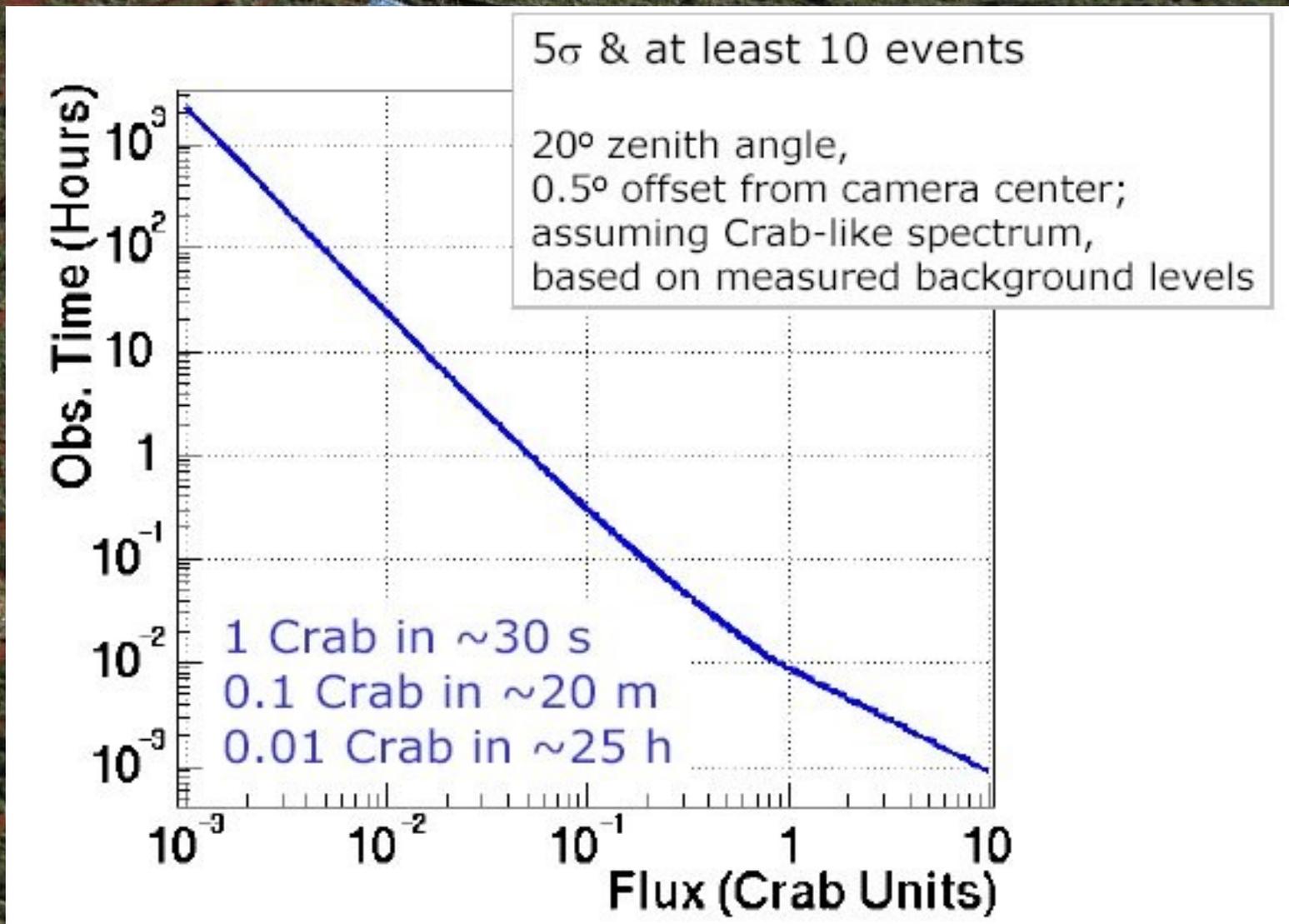
Caméra à haute  
résolution 960 pixels  
PMT 0.16°  
Grand champ de vue 5°

120 m



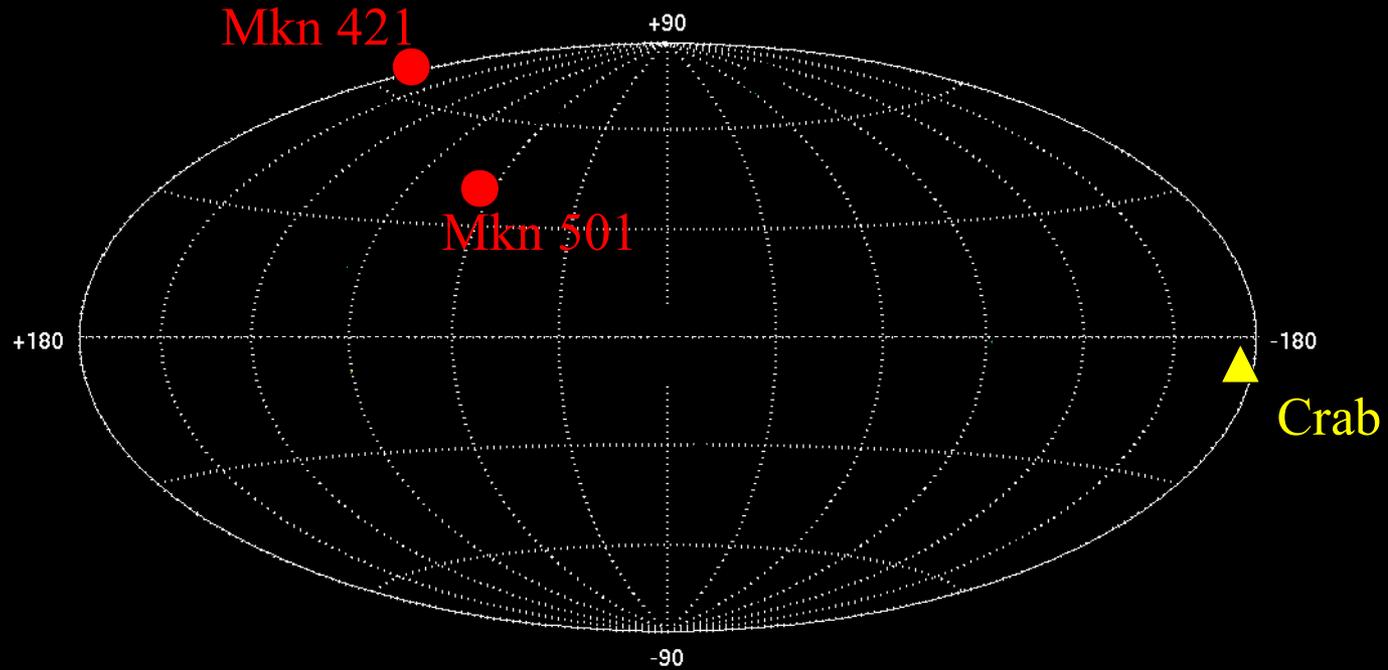


# Sensibilité et seuil de H.E.S.S.



3 sources

Whipple



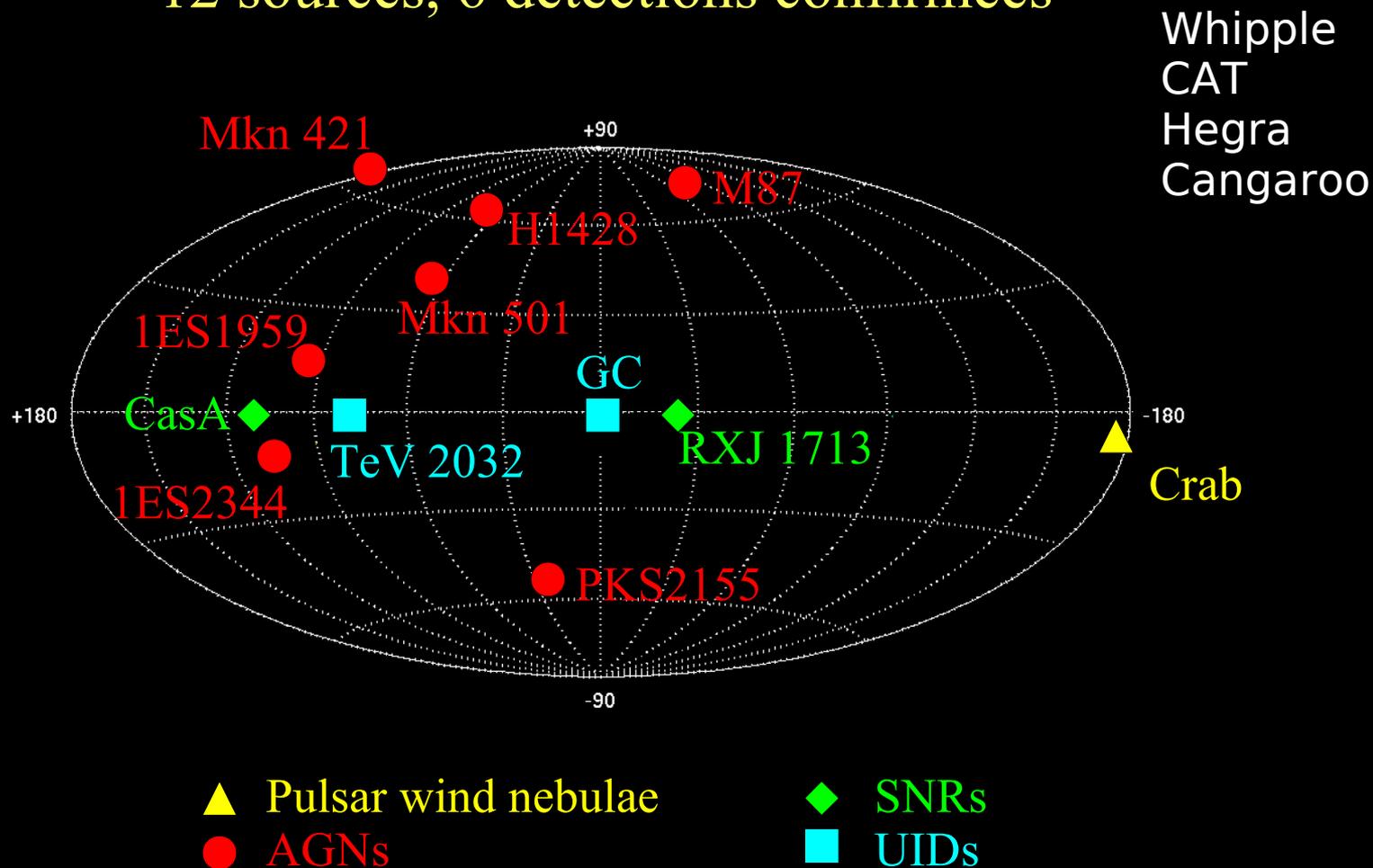
▲ Pulsar wind nebulae

● AGNs

◆ SNRs

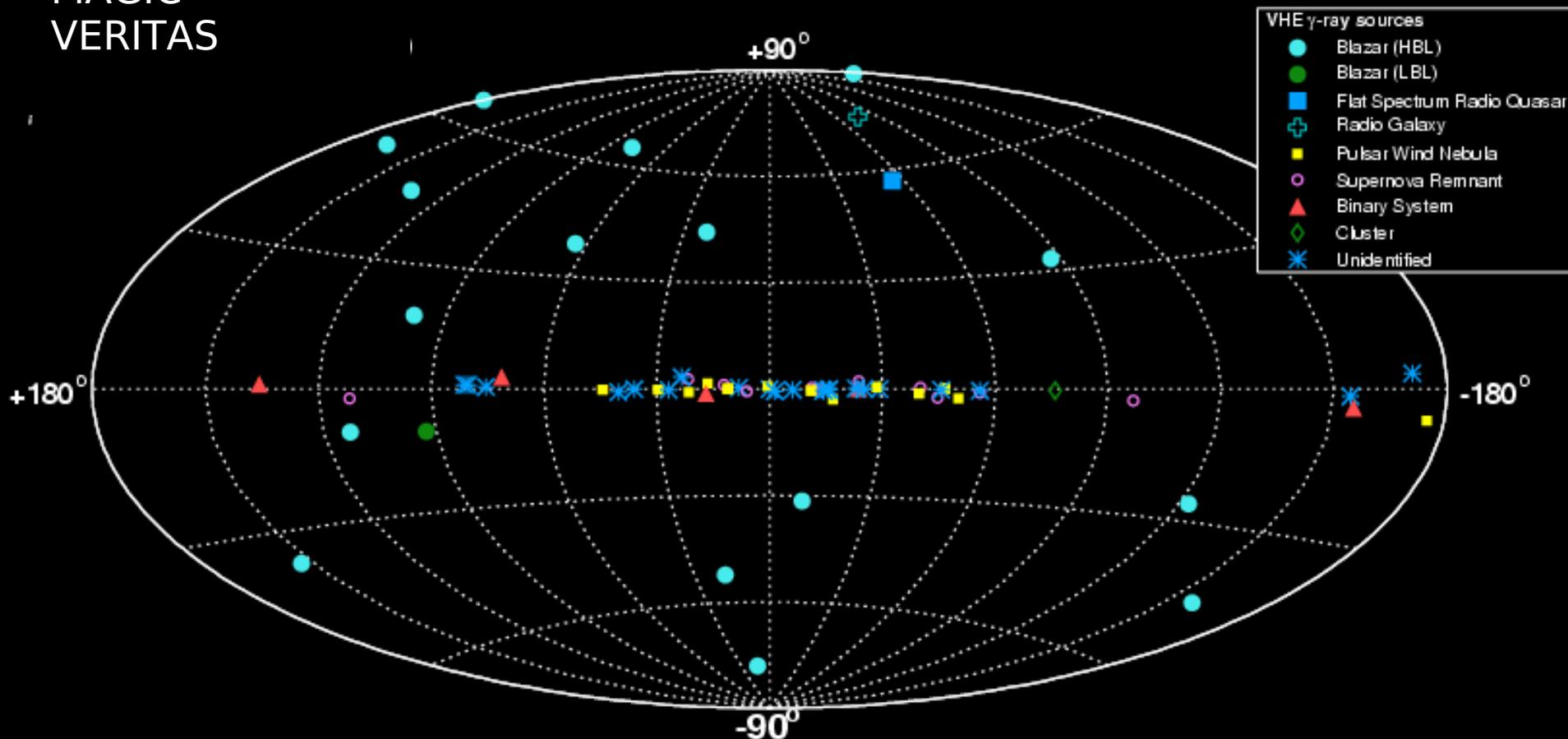
■ UIDs

12 sources, 6 détections confirmées



H.E.S.S.  
MAGIC  
VERITAS

> 70 Sources



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

## Sources galactiques

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

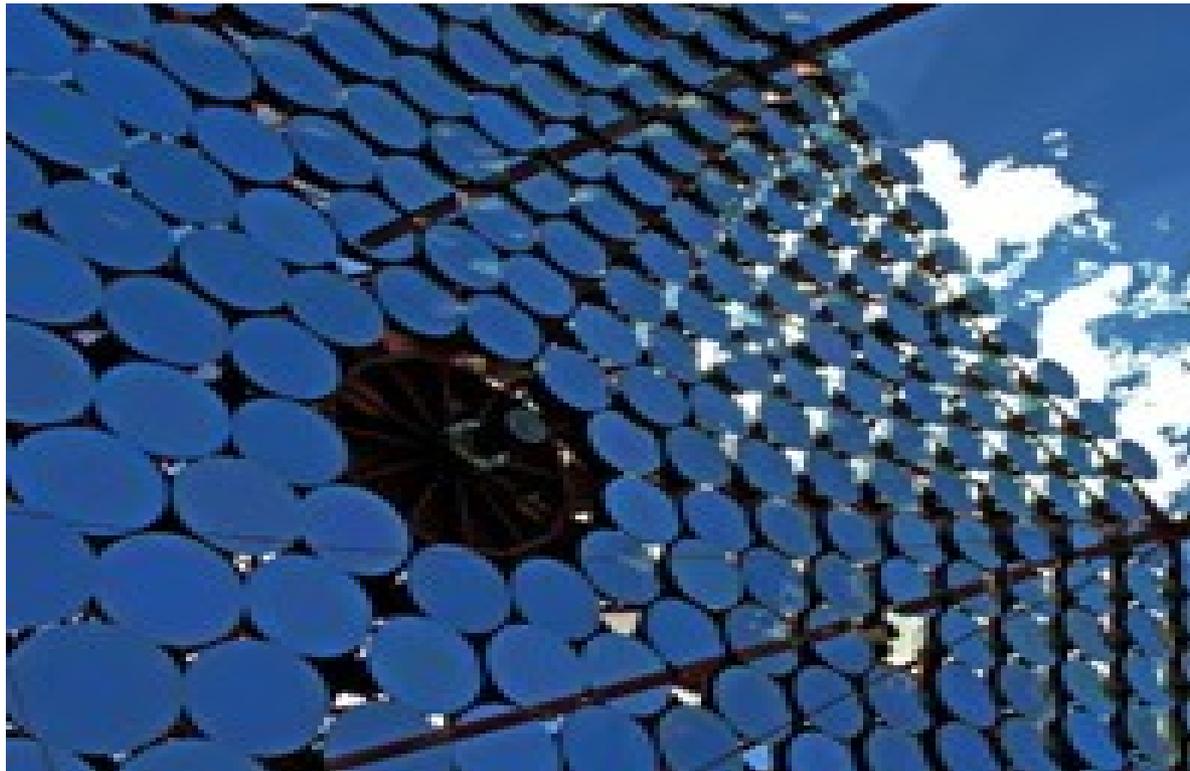
## Sources extragalactiques

- Blazars (8 discoveries by H.E.S.S., several confirmations) PKS 2155-304
- Radiogalaxies (M 87)
- Extragalactic Background Light (EBL)  
H.E.S.S. demonstrated that EBL is lower than previously thought (Nature, 2006)
- Rapid variability puts strong constraints on source size (day-scale for M 87, minutes for PKS 2155-304)
- Limit on Quantum Gravity thanks to measurements of rapid flares (PRL 2008)
- Multiwavelength campaigns  
e.g. PKS 2155-304, M 87, 1ES 1101-232
- Starburst Galaxies (UL)
- GRBs (UL)



- Nouvelle caméra de 2048 pixels ( $0.07^\circ$ )
- $3.5^\circ$  FoV
- Miroir parabolique  
596 m<sup>2</sup>, longueur focale = 36 m
- Grande surface de collection
- Installation fin 2009,  
prise de données attendue pour 2010
- Baisse du seuil à  $\sim 20$  GeV :
  - Accès aux pulsars, microquasars
  - Accès aux AGNs plus lointains
- Sensibilité augmentée d'un facteur  $\sim 2$   
en mode « coïncidence »

**Cherenkov Telescope Array**  
**An advanced facility**  
**for ground-based gamma-ray astronomy**



# Ambitions de CTA

- S'appuyer sur le succès des expériences  $\gamma$  au sol pour bâtir un véritable observatoire  $\gamma$
- Instrument de nouvelle génération en astrophysique des très hautes énergies
- Extension du domaine spectral exploré : de quelques dizaines de GeV à quelques 100 TeV
  - Nouvelles classes de sources
  - Mécanismes d'émission
- Saut d'un ordre de grandeur en sensibilité pour une vision profonde au TeV
- Amélioration de la résolution angulaire pour la cartographie fine
- Flexibilité d'emploi
  - Survey de tout le ciel
  - Ouverture à la communauté
- Consensus général sur deux sites
- Site sud (100 M€)
  - Sensibilité maximale
  - [qqqs 10 GeV, 100 TeV]
  - Résolution angulaire [0.01 deg]
  - Sources galactiques et extra-galactiques
- Site nord (50 M€)
  - [qqqs 10 GeV, 1 TeV]
  - Sources extra-galactiques

# Planning des expériences en astronomie gamma de très haute énergie

	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
<b>HESS</b>		Phase 1					Phase 2			
<b>MAGIC</b>		Phase 1				Phase 2				
<b>VERITAS</b>										
<b>CTA</b>					Design Study			Prototypes		Const.
<b>Fermi</b>					July Launch					
<b>AGILE</b>										
										<b>HAWC?</b>

# Design study : groupes de travail

Design Study  
←→

	06	07	08	09	10	11	12	13
Site exploration	■	■	■	■				
Array layout	■	■	■	■				
Telescope design		■	■	■				
Component prototypes			■	■	■			
Array prototype				■	■	■		
Array construction						■	■	■
Partial operation							■	■

Systeme pleinement operationnel 2018

## Pourquoi CTA ?

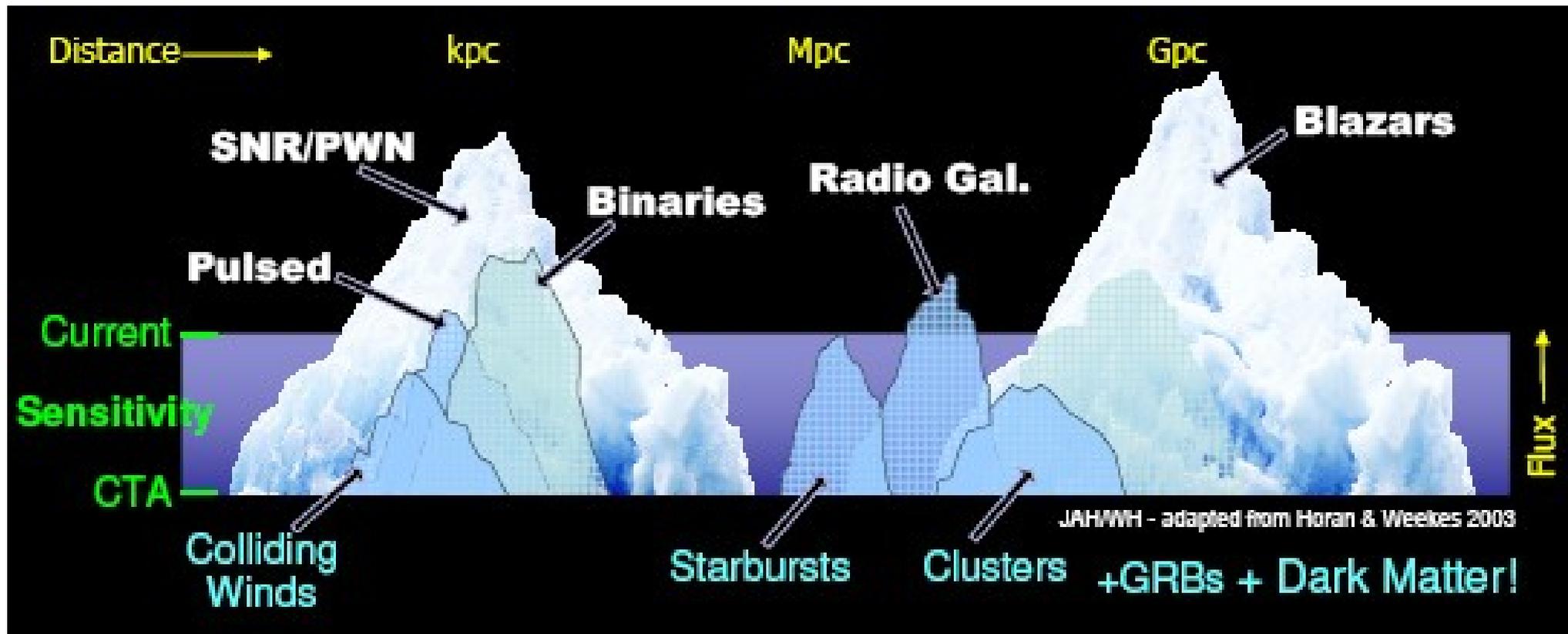
Seuil critique en sensibilité franchi depuis 2004

- Richesse du cosmos au TeV
- Sommets des icebergs, lesquels restent à explorer

## Prochains sauts en sensibilité :

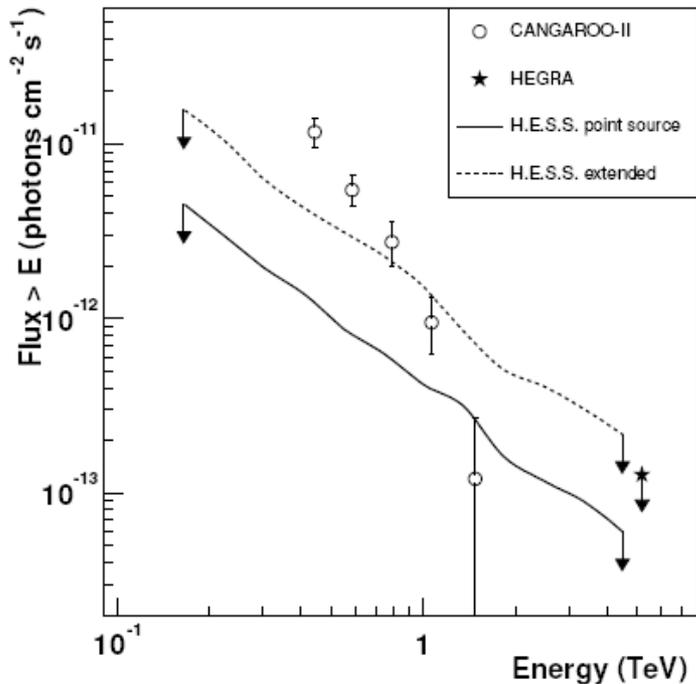
des avancées garanties en astrophysique

- Un fort potentiel de nouvelles découvertes



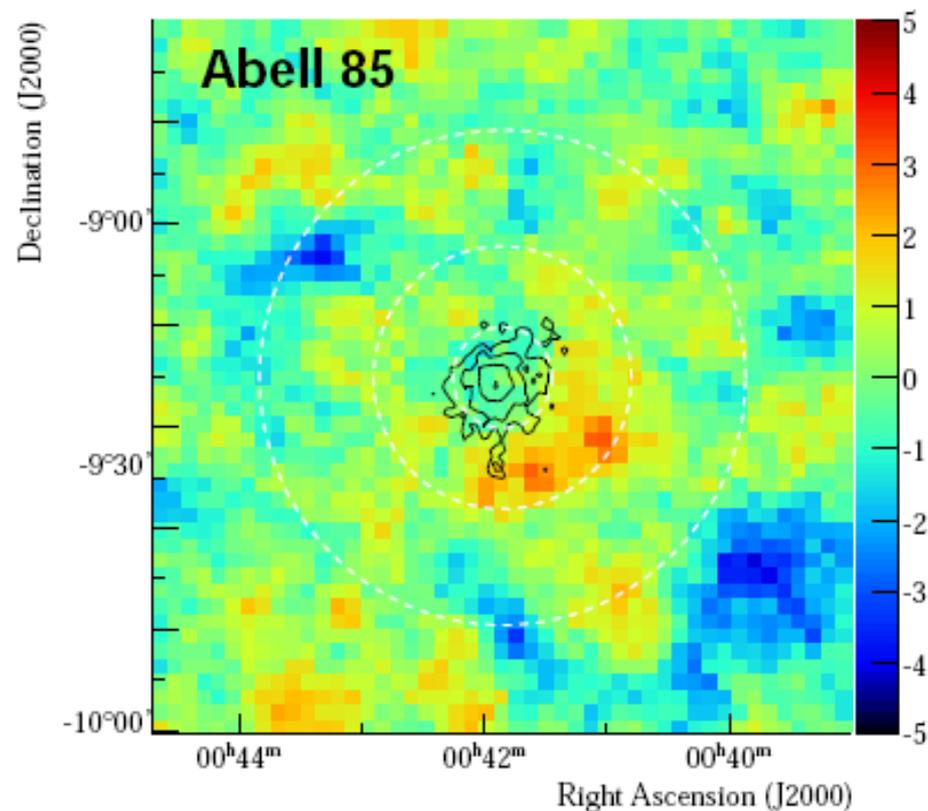
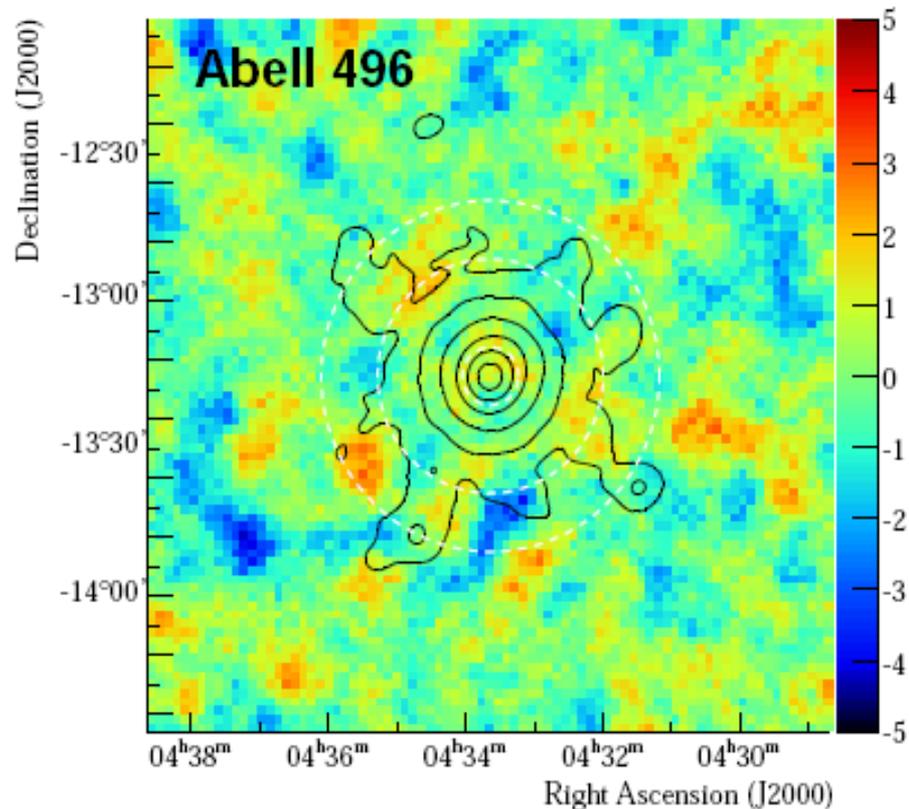
NGC 253

ARP 220



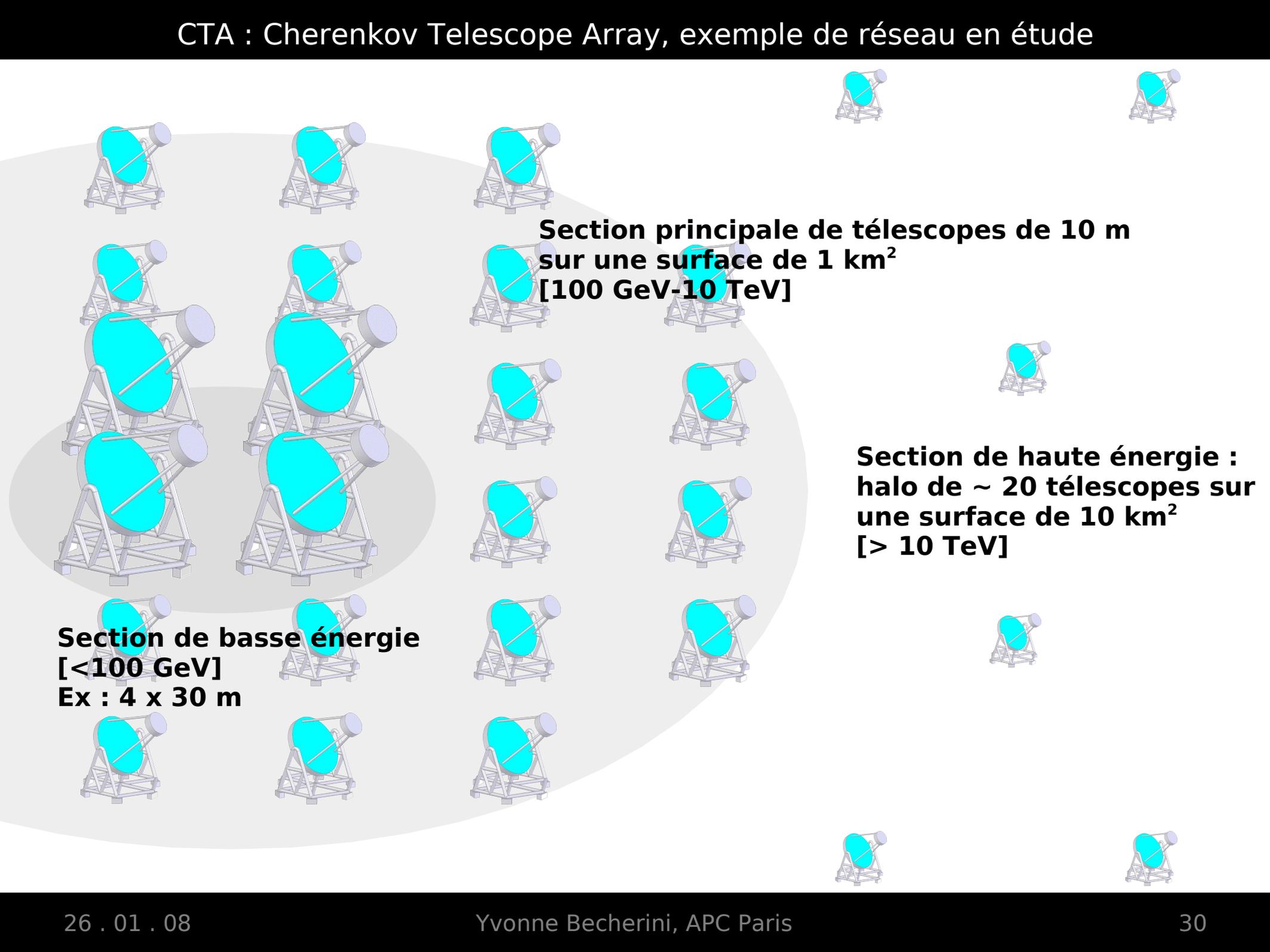
- Les galaxies starburst et les ULIRG ont un flux prédit des  $\gamma$  à très haute énergie qui est juste en dessous de la sensibilité courante
- Détection difficile en  $\gamma$  avec les instruments actuels
- Les limites supérieures sur le flux de  $\gamma$  se rapprochent des prédictions théoriques
- 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

# Recherche de l'émission des amas de galaxies



- Pas de signal avec les sensibilités actuelles, seulement limites supérieures
- Very high energy gamma-ray observations of the galaxy clusters Abell 496 and Abell 85 with H.E.S.S (Accepted for publication in Astron. Astrophys. )

# CTA : Cherenkov Telescope Array, exemple de réseau en étude



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

**Section principale de télescopes de 10 m**  
sur une surface de 1 km<sup>2</sup>  
[100 GeV-10 TeV]

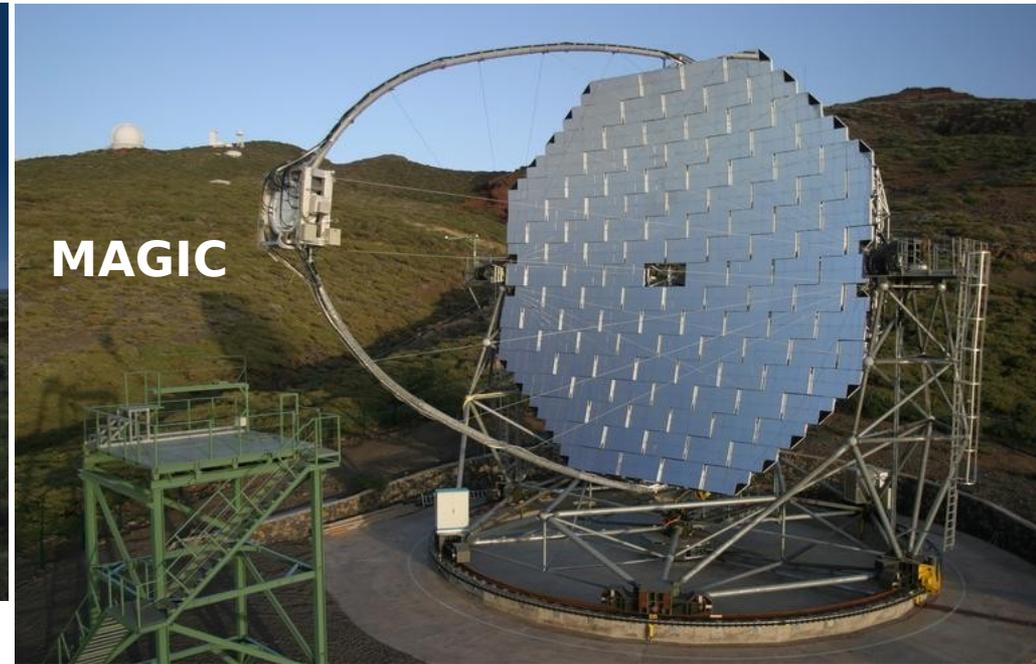
**Section de haute énergie :**  
halo de ~ 20 télescopes sur  
une surface de 10 km<sup>2</sup>  
[> 10 TeV]

## Les acteurs principaux

**H.E.S.S.**



**MAGIC**



- H.E.S.S. + MAGIC
- Renforcé par plusieurs nouvelles équipes (Pays Bas, Suisse, Suède)
- Expression officielle d'intérêt du Japon (2008)
- Argentine, Danemark, Russie aussi intéressés
- Liens avec VERITAS (UK)
- Projet concurrent (pour l'instant) : AGIS aux Etats Unis

... et la participation d'autres partenaires est bienvenue

# CTA : participation française

- Points forts de la participation française
  - expertise avancée acquise avec CAT et H.E.S.S. (et Asgat, Themistocle, Celeste)
  - à l'initiative du projet (avec les allemands)
  - puissance de calcul
  - communauté importante, déjà constituée
- Instituts concernés :
  - CNRS (IN2P3, INSU), CEA, Observatoire de Paris, Ecole Polytechnique et six Universités (Paris 6, Paris 7, Montpellier, Savoie, Grenoble, Toulouse)
  - 9 laboratoires impliqués (~51 chercheurs, ~37 ITA)
- Partenariats industriels nécessaires (Photonis ...) pour une expérience à cette échelle
- La France devrait assurer à la collaboration internationale des contributions essentielles dans CTA
  - optimisation du réseau
  - conception de caméras et prototypes
  - analyse
  - ainsi qu'une contribution significative au projet dans toute sa globalité

## Le Design Study :

- Faisabilité déjà démontrée et technologies déjà éprouvées pour une solution « base-line »
- Buts et défis principales : garantir fiabilité et performances optimales de l'électronique et des télescopes tout en réduisant les coûts (projet de classe 150 M€)
- Développements requis pour optimiser le réseau (études Monte Carlo) et les composants
- Recherche plus spéculative (e.g. SiPMs) en second plan pour veille technologique, intégration possible dans un cycle d'upgrade ultérieure
- Prototypes : nécessaires avant de démarrer la production industrielle de masse des télescopes et des caméras
- Optimisation de la configuration du réseau : taille des miroirs, FoV, taille des pixels, espacement et définition des tiroirs
- Améliorer les senseurs optiques et l'électronique de la digitisation du signal
- Analyse des différentes options des triggers pour le réseau
- Optimisation de la structure du télescope, optique et miroirs
- Monitoring atmosphérique et sélection des deux sites
- Développement des outils pour la distribution des données

## Design study : groupes de travail

	WP	Work Package	Coordinators
1	MGT	Management of the design study	
2	PHYS	Astrophysics and astroparticle physics	Diego Torres – ICREA & Institut de Ciències, Barcelona
3	MC	Optimisation of array layout, performance studies, and analysis algorithms.	Jim Hinton – University of Leeds Giovanni Lamanna – LAPP IN2P3/CNRS
4	SITE	Site evaluation and site infrastructure	R. Paoletti – University of Siena
5	MIR	Design of telescope optics and mirror	Mosé Mariotti – University of Padova
6	TEL	Design of Telescope structure, drives, and control systems	Michael Panter – MPIK Heidelberg
7	FPI	Focal Plane Instrumentation, photodetectors, light-guides, mechanics	Razmik Mirzoyan – MPIP Munich
8	ELEC	Read-out electronics and trigger	Pascal Vincent – LPNHE IN2P3/CNRS
9	ATAC	Atmospheric monitoring, associated science, and instrument calibration	Manel Martinez – IFAE Barcelona
10	OBS	Observatory operation and access	Aimo Sillanpää – Tuorla Obs./Turku Univ. Stefan Wagner – Landessternwarte Heidelberg
11	DATA	Data handling, processing, management, and access	Christian Stegmann – ECAP Erlangen Adrian Biland – ETH Zürich
12	QA	Quality assurance and risk assessment	Michael Punch – APC IN2P3/CNRS

- Missions:
  - Résumé des sujets de physique pour CTA et définition des responsables
  - Ecriture de propositions d'observation pour un instrument « idéal » (23 actuellement) et synthèses
  - Définition de sources « benchmark », caractérisation des performances instrumentales requises
- Etudes de l'impact sur les résultats de physique de différentes estimations de la réponse de l'instrument (provenant du WP-MC)
  - Interfaces avec les autres observatoires
  - Définition d'une liste de sources cibles prioritaire qui servira au programme d'observation

- Le but du WP est de tester les différentes configurations proposées (types de télescopes et disposition des réseaux) pour optimiser les performances pour un cout donné
  - en sensibilité spectrale
  - en résolution angulaire et en énergie
  - en rejection du fond
- Les configurations ont été définies par des méthodes « Toy Model », développées (France, UK) sur la base des simulations
- Plusieurs configurations sont en cours de test par les simulations allemandes et françaises

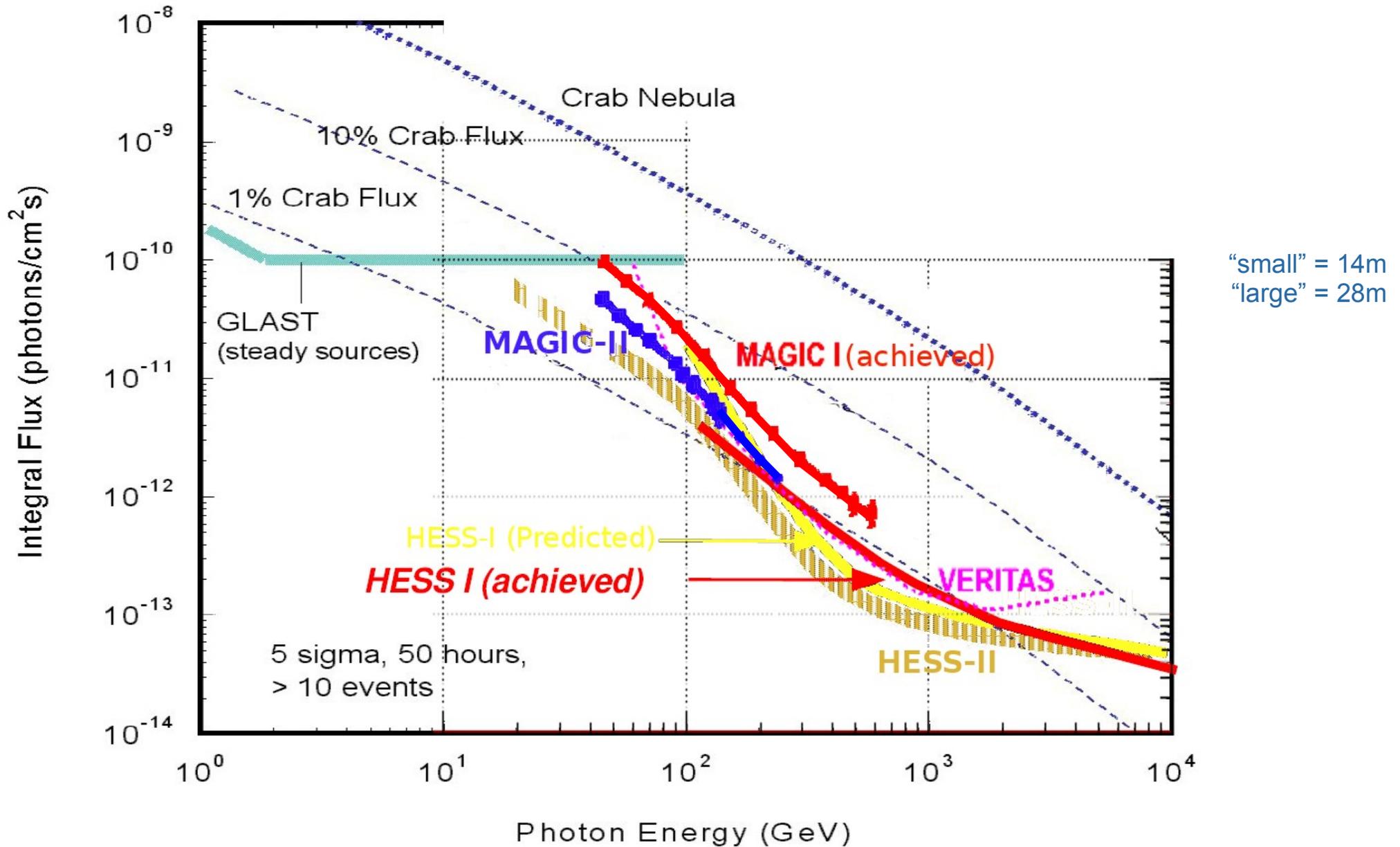
Diam. [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	focal [m]	Npix	pixel diam. [cm]/[deg]	f.o.v. [deg]
23	412	31.2	2841	4.9 / 0.09	5
12	100	15.6	1765	4.9 / 0.18	8
6.7	37	11.2	1417	4.9 / 0.25	10
10	73	10.0	931	5.2 / 0.30	10

23 m telescopes -> parabolic

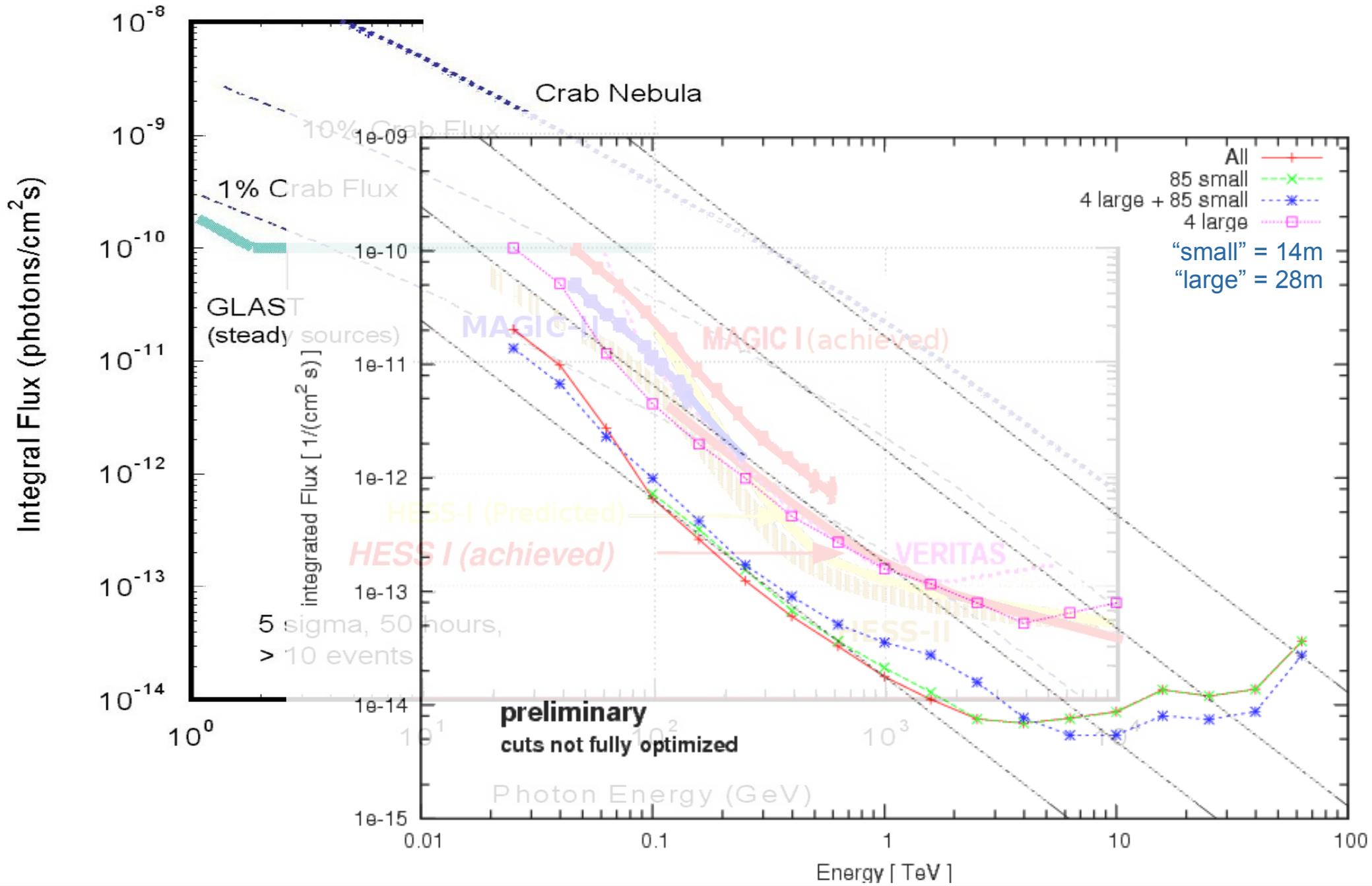
all the others -> Davies-Cotton

- Etude de l'utilité de l'implémentation de l'information temporelle fine :
  - forme des impulsions dans les pixels
  - déclenchement relatif entre les télescopes

# Sensibilité des expériences actuelles

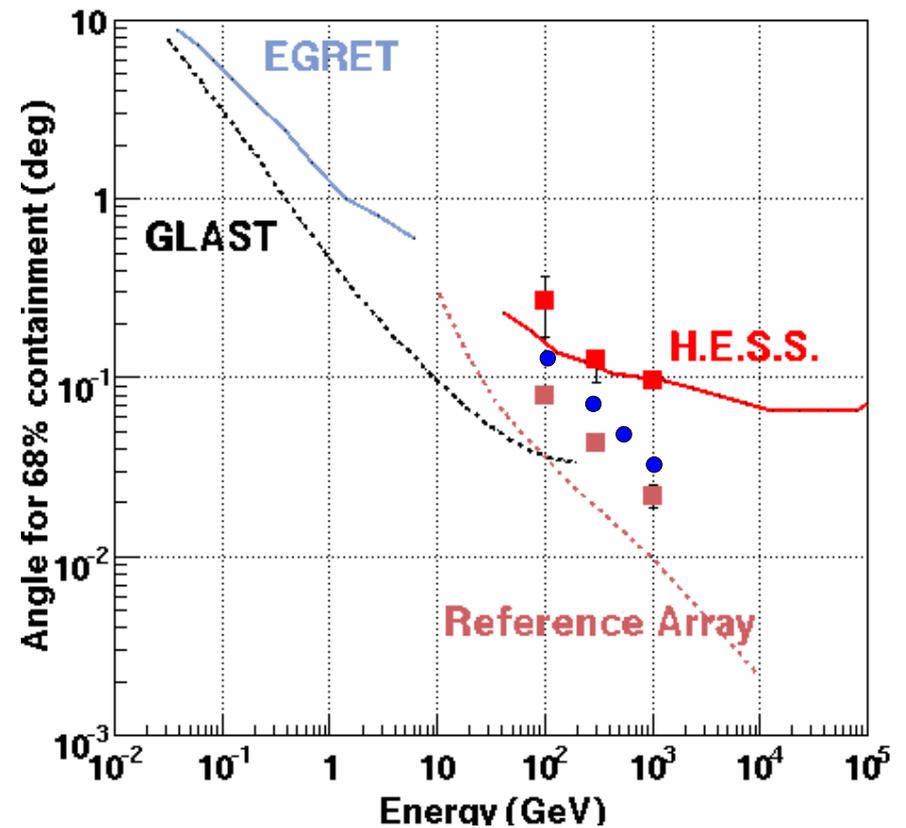
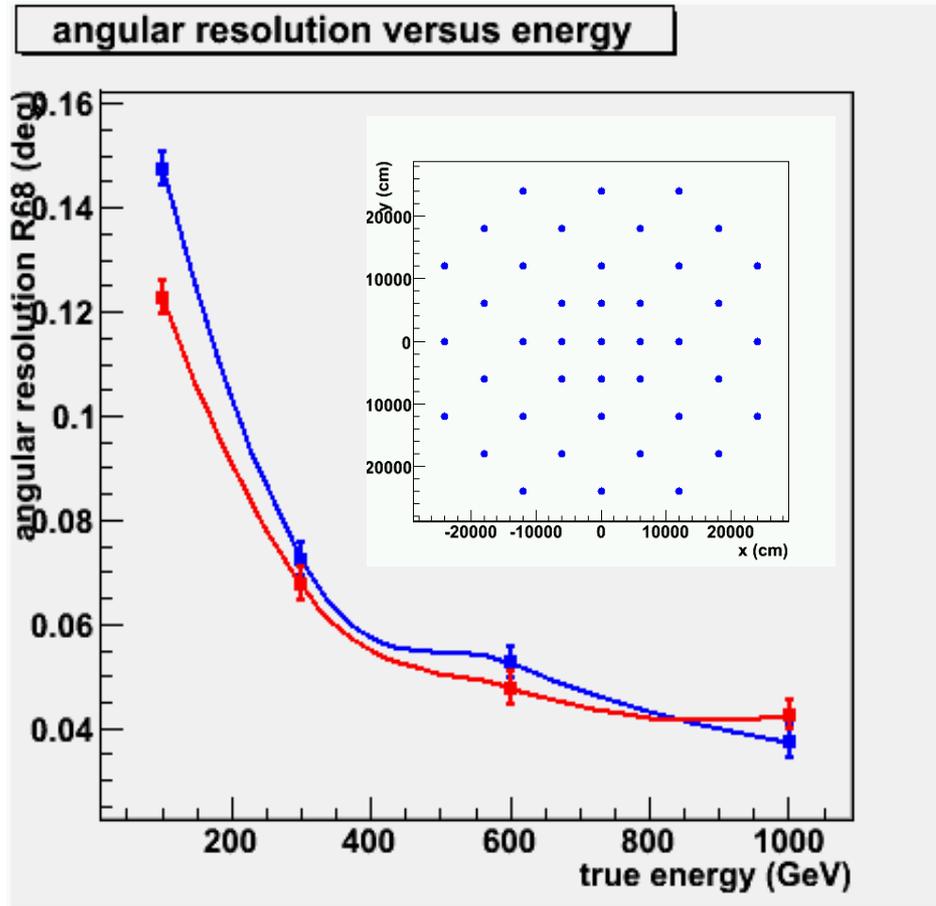


# CTA : gain en sensibilité



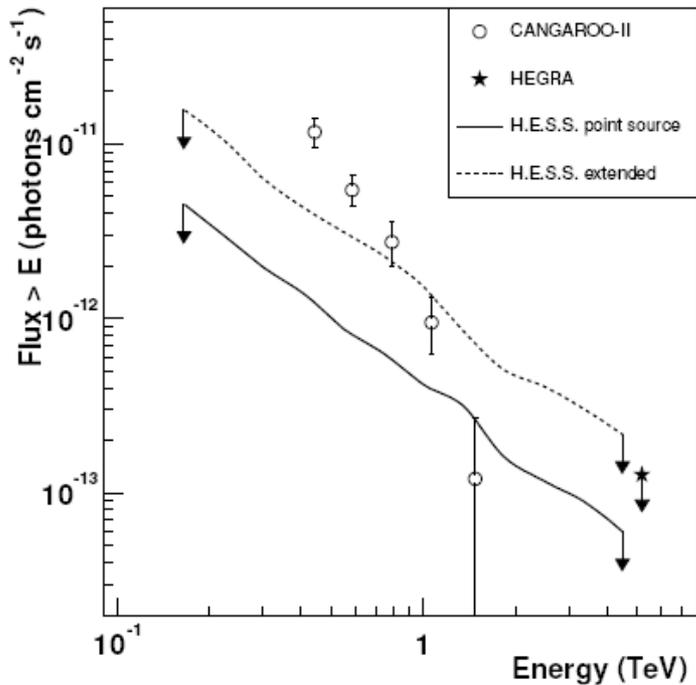
# CTA : gain en résolution angulaire

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



NGC 253

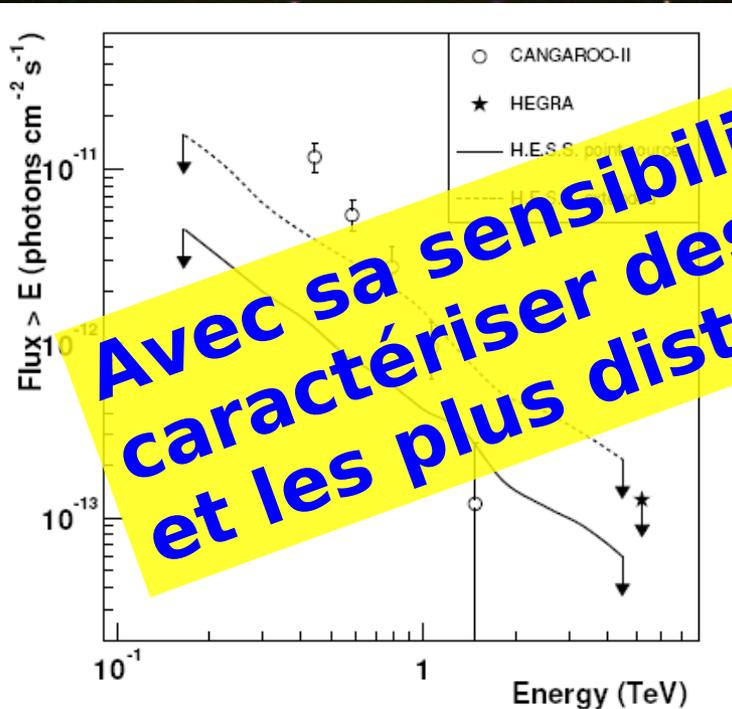
ARP 220



- Les galaxies starburst et les ULIRG ont un flux prédit des  $\gamma$  à très haute énergie qui est juste en dessous de la sensibilité courante
- Détection difficile en  $\gamma$  avec les instruments actuels
- Les limites supérieures sur le flux de  $\gamma$  se rapprochent des prédictions théoriques

NGC 253

ARP 220



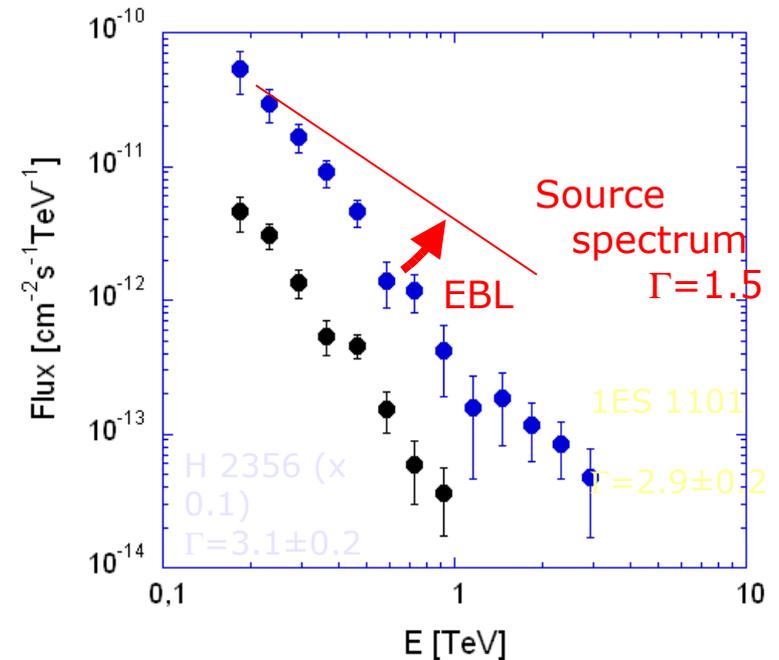
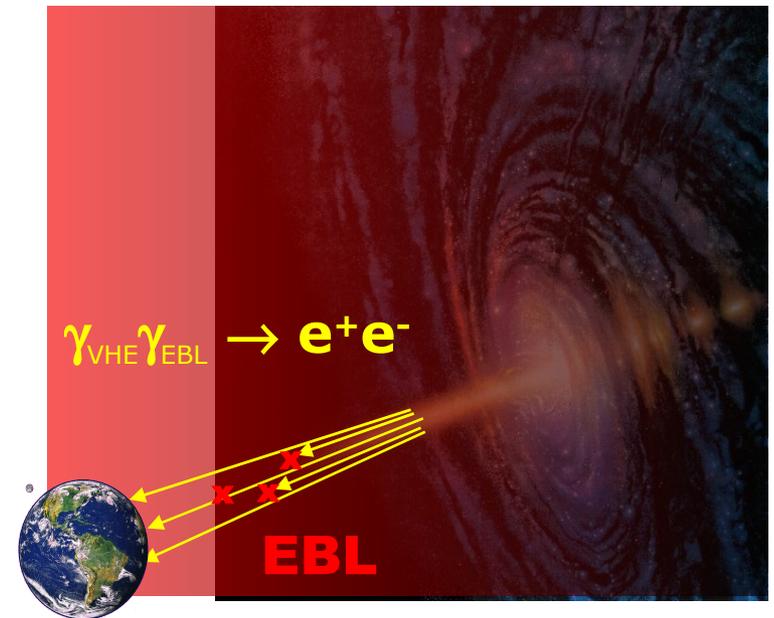
**Avec sa sensibilité CTA peut détecter et caractériser des sources plus faibles et les plus distantes**

• Les galaxies starburst et les ULIRG ont un flux prédit des  $\gamma$  à très haute énergie qui est juste en dessous de la sensibilité courante

- Détection difficile en  $\gamma$  avec les instruments actuels
- Les limites supérieures sur le flux de  $\gamma$  se rapprochent des prédictions théoriques

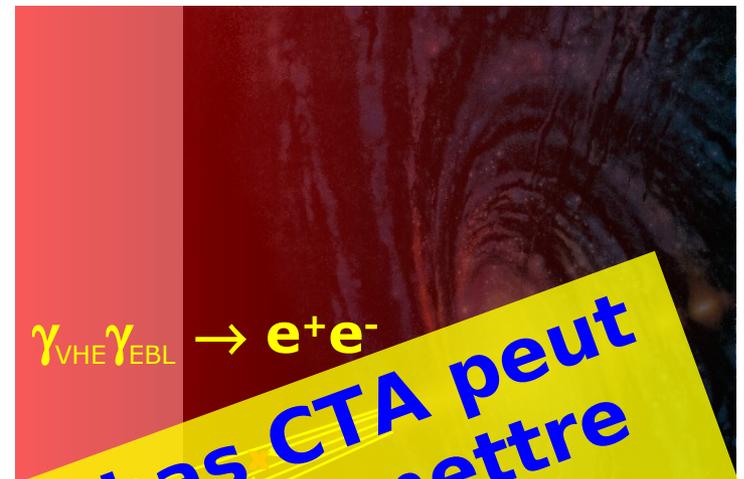
# The Extragalactic Catalogue

Object	Redshift	Type	1 <sup>st</sup> Detection
<b>M 87</b>	0.004	FR I	HEGRA
<b>Mkn 421</b>	0.030	HBL	Whipple*
Mkn 501	0.034	HBL	Whipple*
1ES 2344+514	0.044	HBL	Whipple
Mkn 180	0.046	HBL	MAGIC
1ES 1959+650	0.047	HBL	7-Tel. Array*
<b>BL Lac</b>	0.069	LBL	MAGIC
<b>PKS 0548-322</b>	0.069	HBL	H.E.S.S.
<b>PKS 2005-489</b>	0.071	HBL	H.E.S.S.
<b>RGB J0152+017</b>	0.080	HBL	H.E.S.S.
W Comae	0.102	IBL	VERITAS
<b>PKS 2155-304</b>	0.116	HBL	Mark VI
H 1426+428	0.129	HBL	Whipple*
1ES 0809+524	0.138	HBL	VERITAS
<b>1ES 0229+200</b>	0.139	HBL	H.E.S.S.
<b>H 2356-309</b>	0.165	HBL	H.E.S.S.
1ES 1218+304	0.182	HBL	MAGIC
<b>1ES 1101-232</b>	0.186	HBL	H.E.S.S.
<b>1ES 0347-121</b>	0.188	HBL	H.E.S.S.
1ES 1011+496	0.212	HBL	MAGIC
<b>PG 1553+113</b>	>0.25	HBL	H.E.S.S.
3C 66A	0.444?	IBL	VERITAS

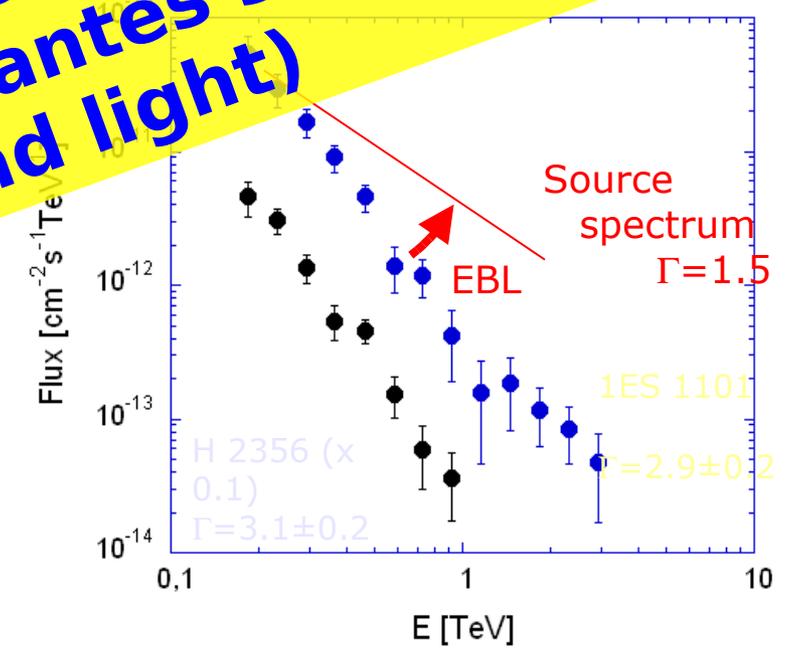


# The Extragalactic Catalogue

Object	Redshift	Type	1 <sup>st</sup> Detection
<b>M 87</b>	0.004	FR I	HEGRA
<b>Mkn 421</b>	0.030	HBL	Whipple*
Mkn 501	0.034	HBL	Whipple*
1ES 2344+514	0.044	HBL	Whipple
Mkn 180	0.046	HBL	MAGIC
1ES 1959+650	0.047	HBL	7-Tel. Array*
<b>BL Lac</b>	0.069	LBL	MAGIC
<b>PKS 0548-322</b>	0.069	HBL	H.E.S.S.
<b>PKS 2005-489</b>	0.071	HBL	H.E.S.S.
<b>RGB J0152+017</b>	0.080	HBL	H.E.S.S.
W Comae	0.102	IBL	VERITAS
<b>PKS 2155-304</b>	0.116	HBL	Mark VI
H 1426+428	0.129	HBL	Whipple*
1ES 0809+524	0.131	HBL	VERITAS
<b>1ES 0229+200</b>	0.139	HBL	H.E.S.S.
H 2356-309	0.155	HBL	H.E.S.S.
1ES 2218+304	0.182	HBL	MAGIC
<b>1ES 1115-152</b>	0.186	HBL	H.E.S.S.
<b>1ES 0347-121</b>	0.195	HBL	H.E.S.S.
1ES 1011+496	0.212	HBL	MAGIC
<b>PG 1551-183</b>	>0.25	HBL	H.E.S.S.
3C 66A	0.444?	IBL	VERITAS
<b>3C 279</b>	0.536	FSRQ	MAGIC ?

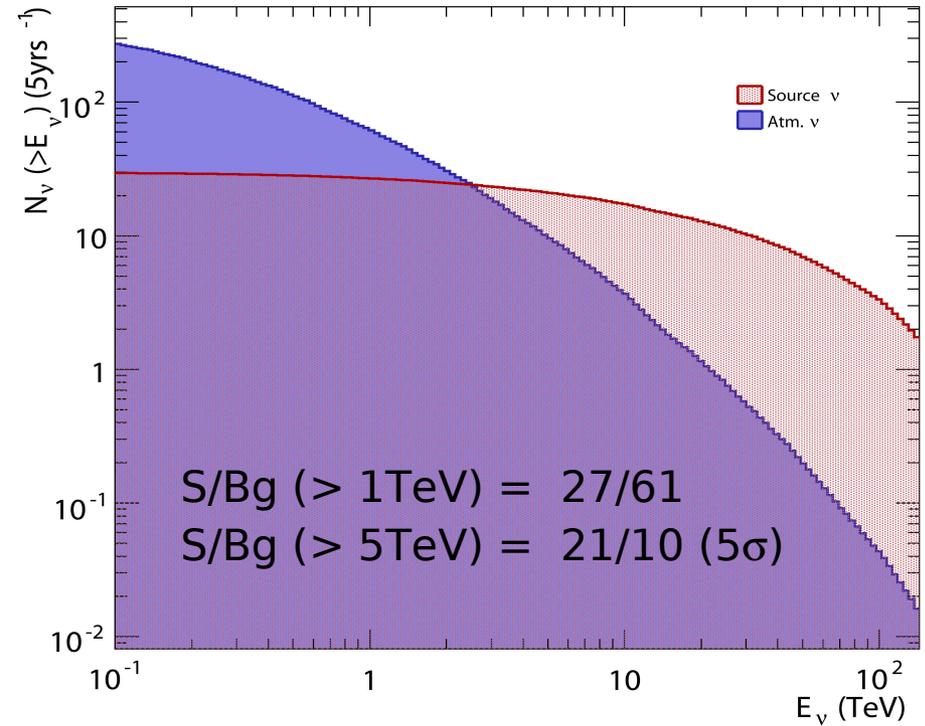
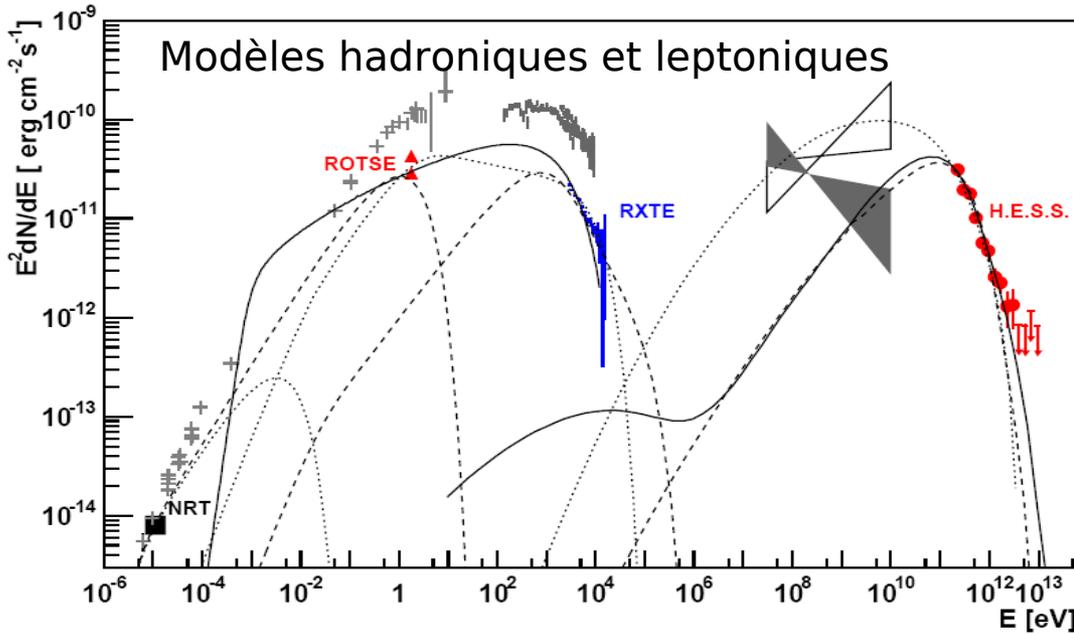


**Avec sa sensibilité et seuil plus bas CTA peut détecter et des AGN plus lointains et mettre des limites plus contraignantes sur le EBL (Extra-galactic background light)**



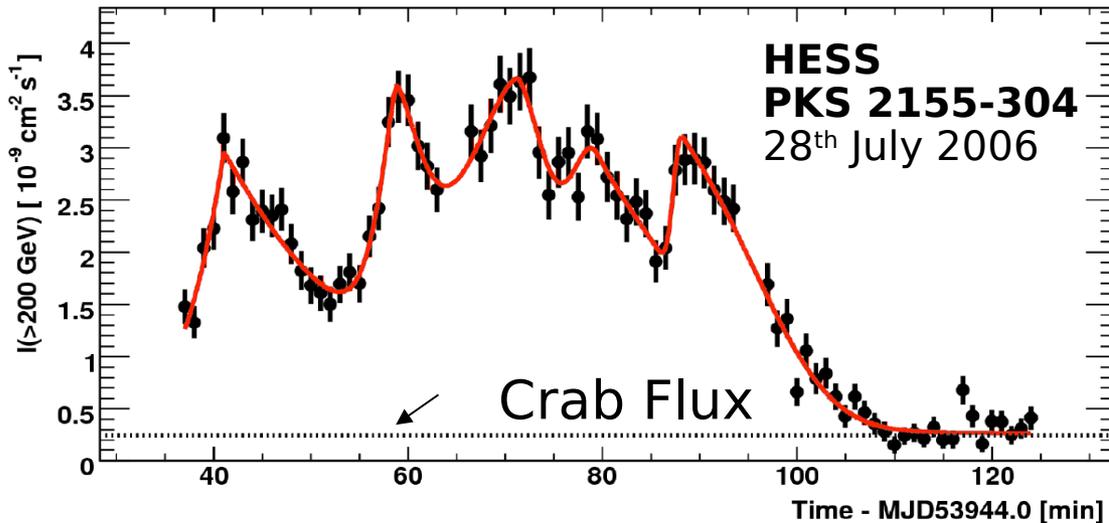
# PKS 2155-304 : mesures en gamma et prédictions neutrinos

Campagne multi-longueur d'onde en 2003

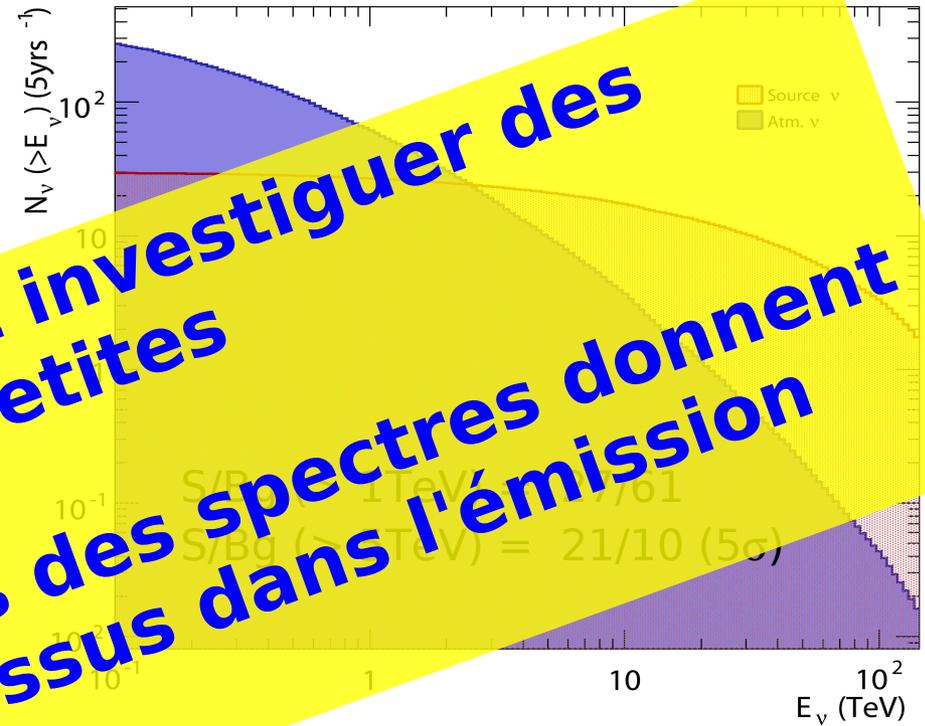
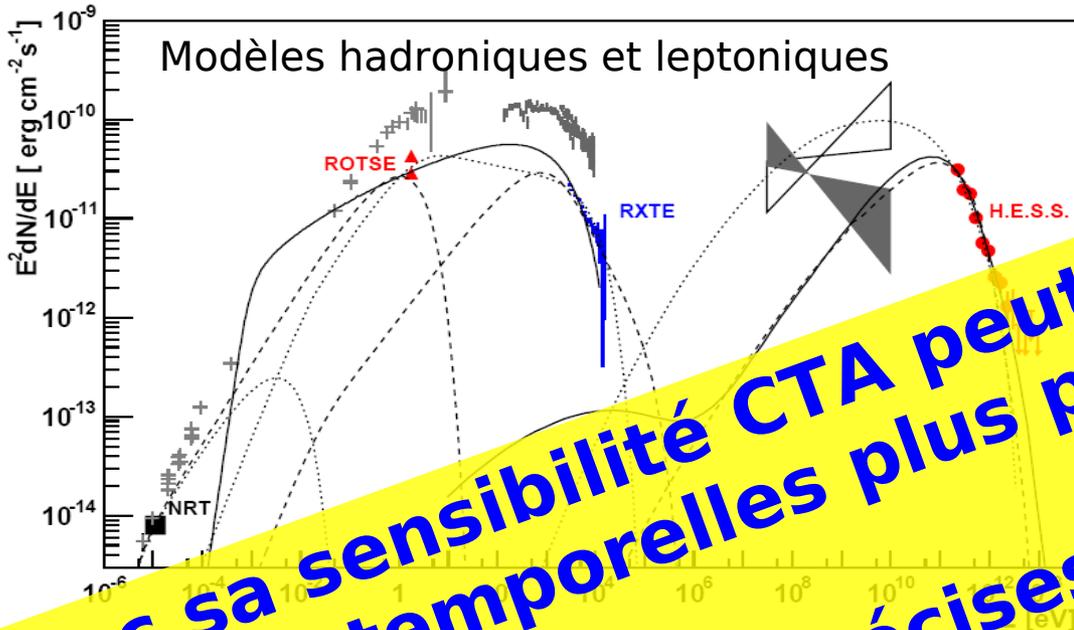


R.J.White, ICRC 2007

- Flare exceptionnel de Juillet 2006
- Variabilité sur l'échelle de 2 minutes
  - Difficultés pour les modèles hadroniques



Campagne multi-longueur d'onde en 2003

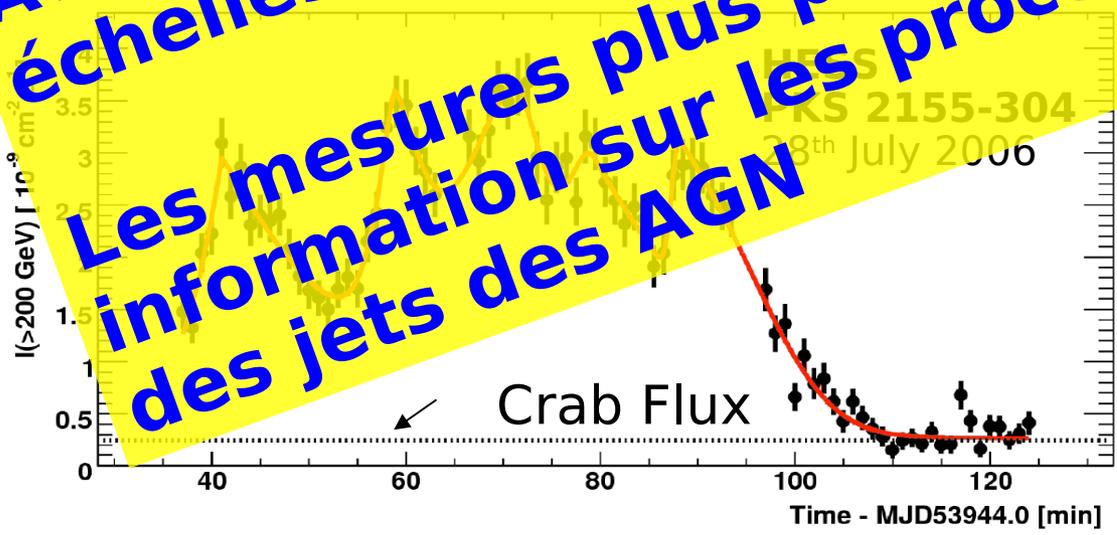


**Avec sa sensibilité CTA peut investiguer des échelles temporelles plus petites**

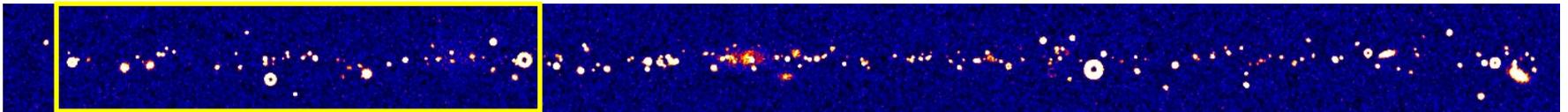
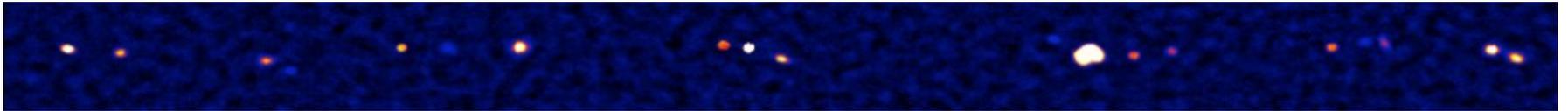
**Les mesures plus précises des spectres donnent information sur les processus dans l'émission des jets des AGN**

R.J.White, ICRC 2007

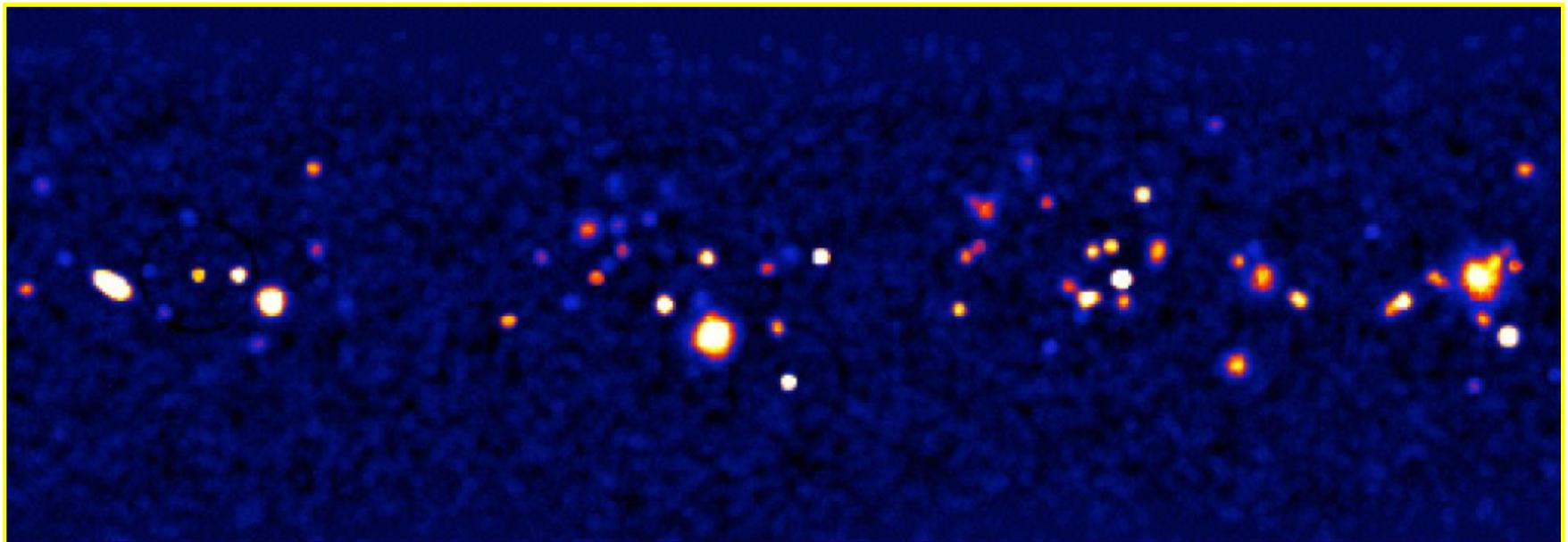
- Flare exceptionnel de Juillet 2006
- Variabilité sur l'échelle de 2 minutes
  - Difficultés pour les modèles hadroniques



Galactic plane as seen by HESS



CTA view

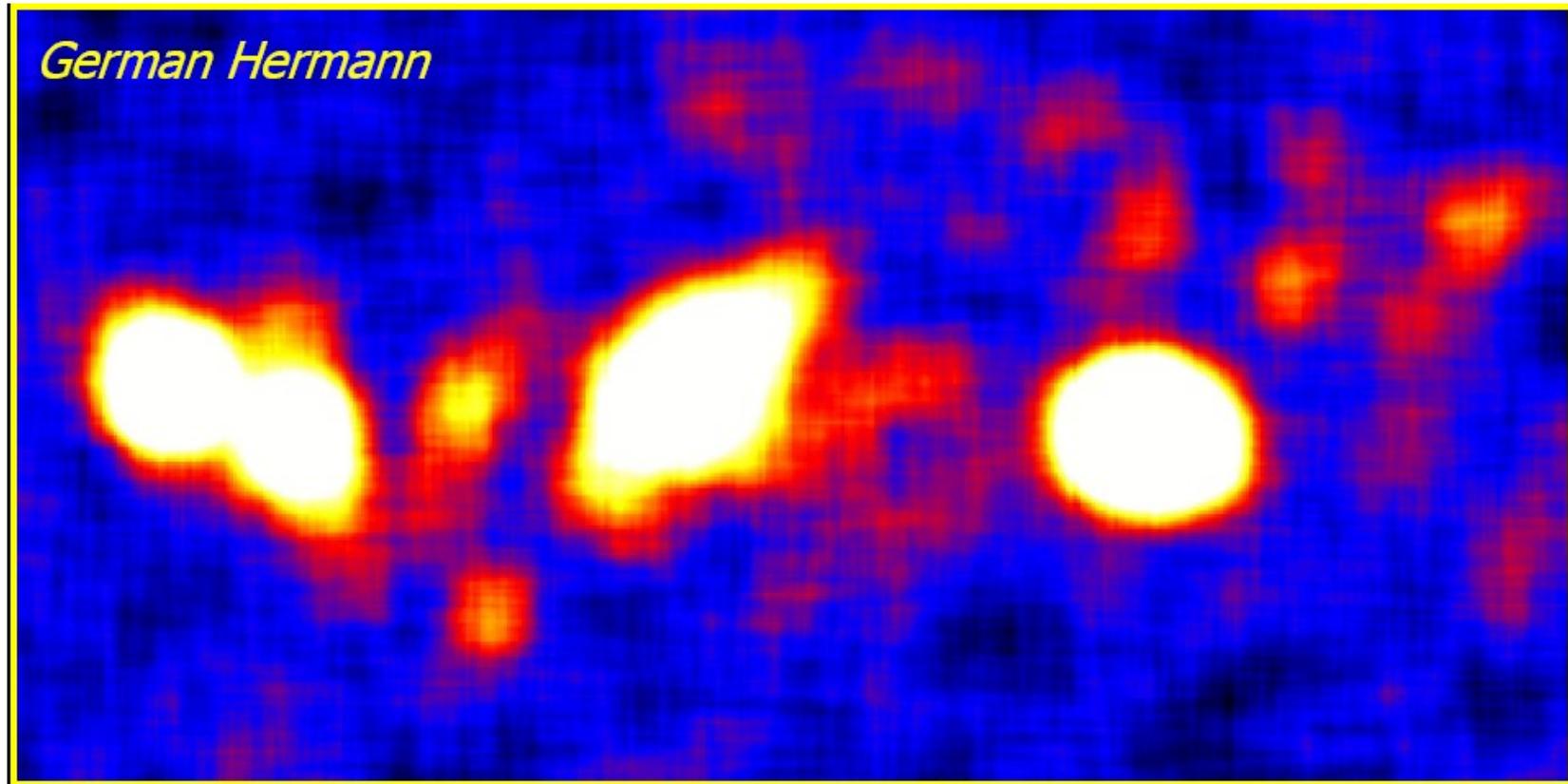


**Simulations CTA/AGIS**

*Digel + Funk (Stanford) + Hinton (Leeds)*

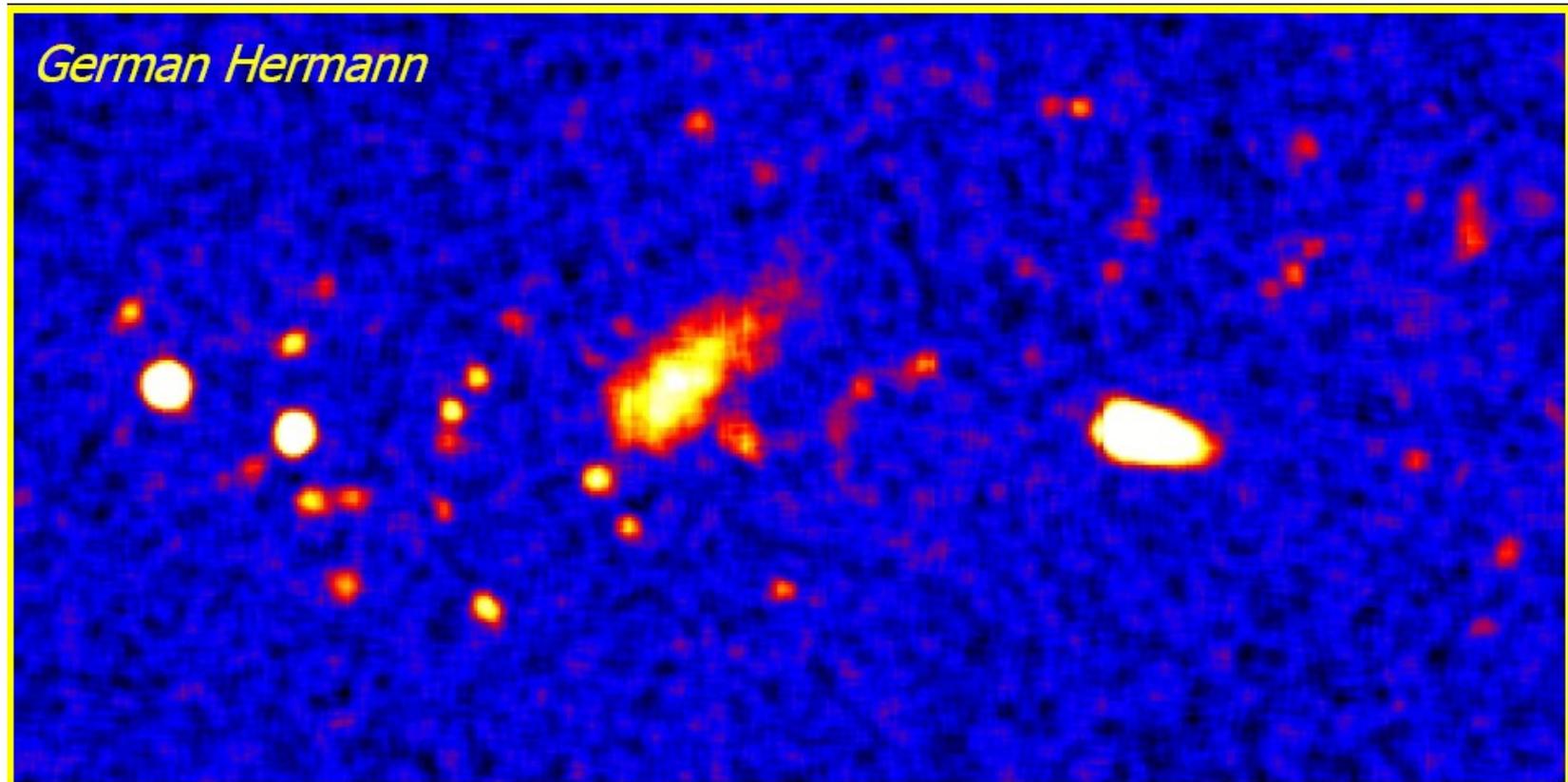
## Résolution angulaire de CTA

- Modèle pour les sources galactiques avec la sensibilité attendue par CTA
- 0.2 deg pour des énergies  $> 50$  GeV (6 deg FOV)



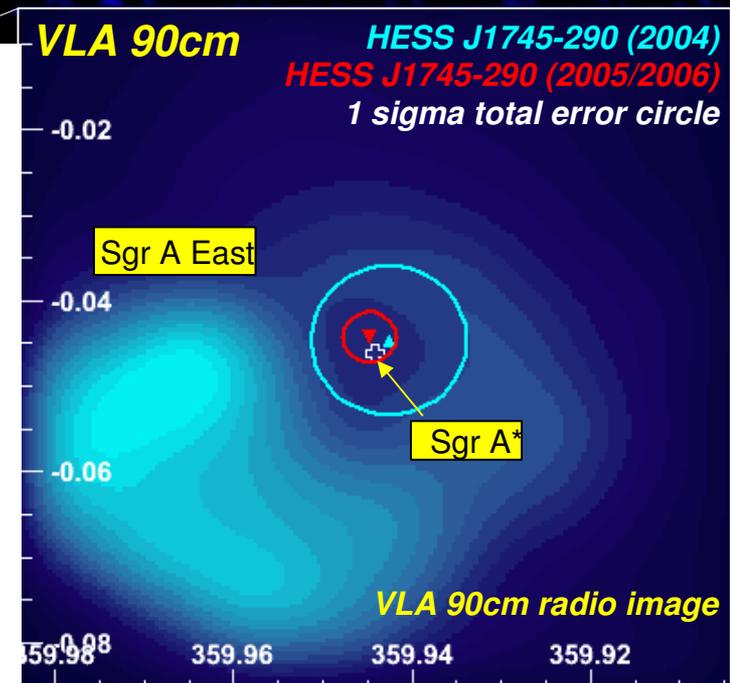
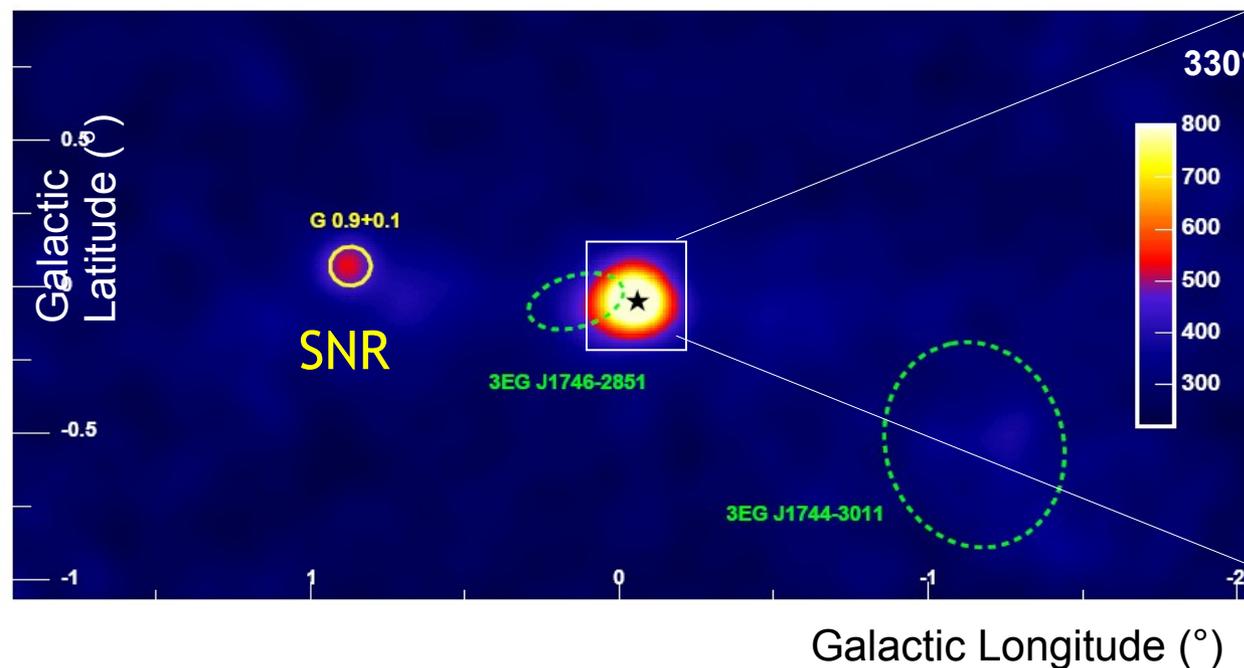
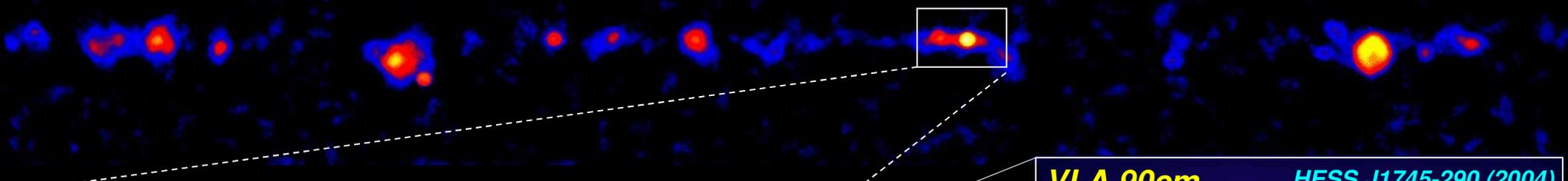
## Résolution angulaire de CTA

- Modèle pour les sources galactiques avec la sensibilité attendue par CTA
- 0.2 deg pour des énergies  $> 50$  GeV (6 deg FOV)
- 0.05 deg pour de énergies  $> 1$  TeV (6 deg FOV)



# H.E.S.S. scan du plan Galactique et position du centre galactique

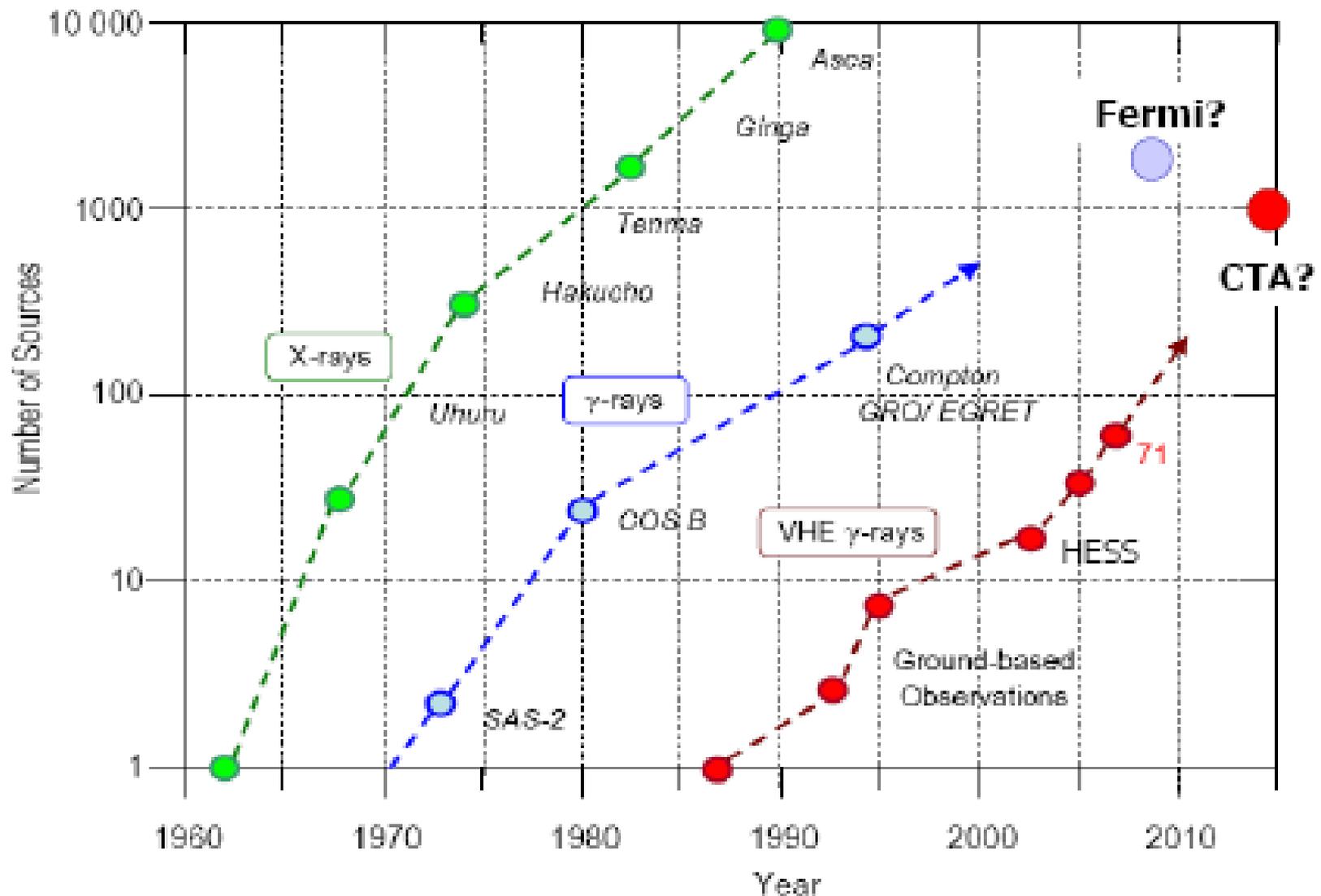
VHE  $\gamma$ -rays



CTA : capable de faire un scan de  $\frac{1}{4}$  du ciel dans le premier an à  $< 10$  milliCrab  
→ énorme potentiel de découverte

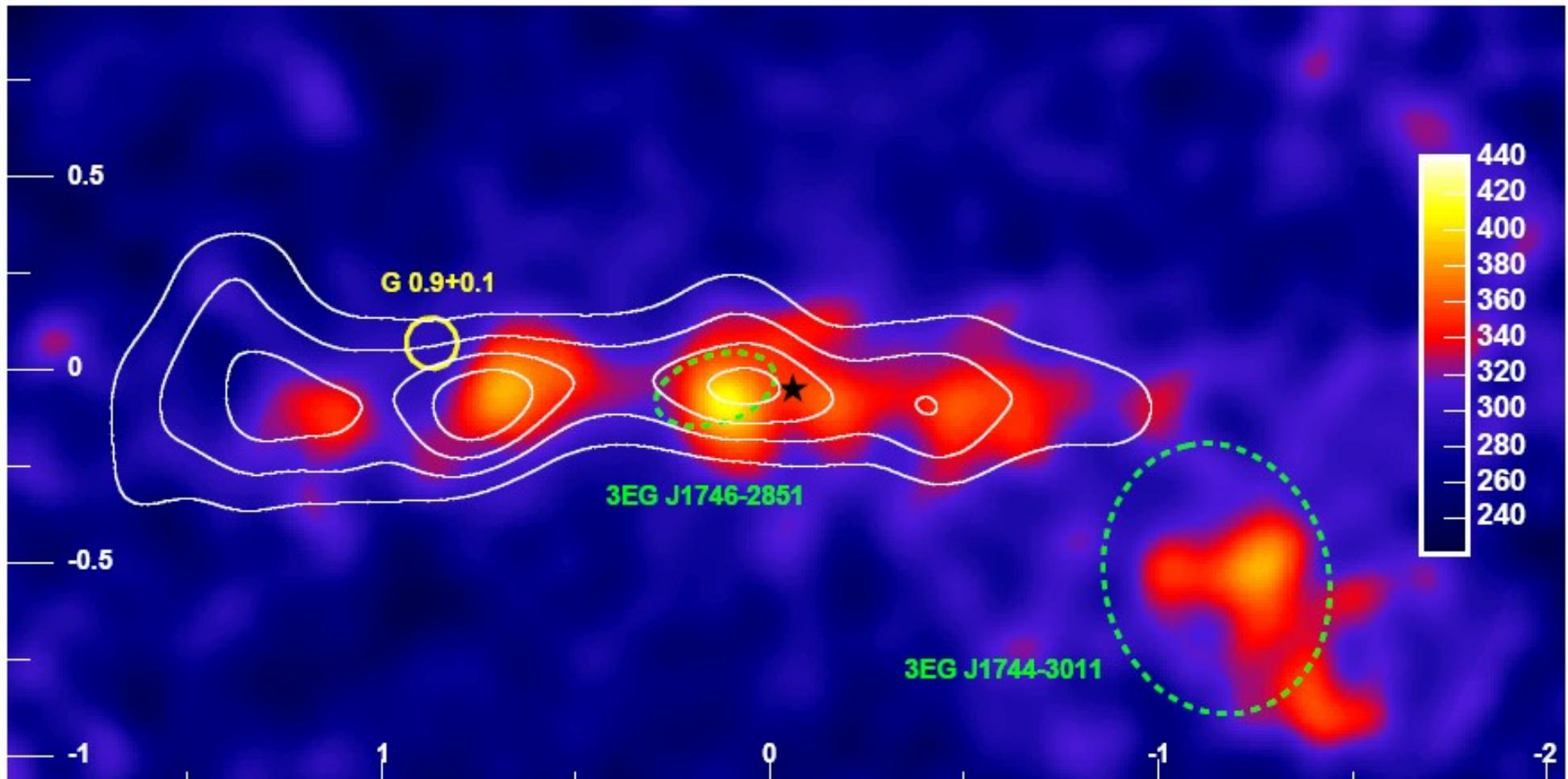
Avec la fine résolution angulaire CTA peut déterminer  
les contreparties des sources ponctuelles

# CTA : nombre des sources attendues



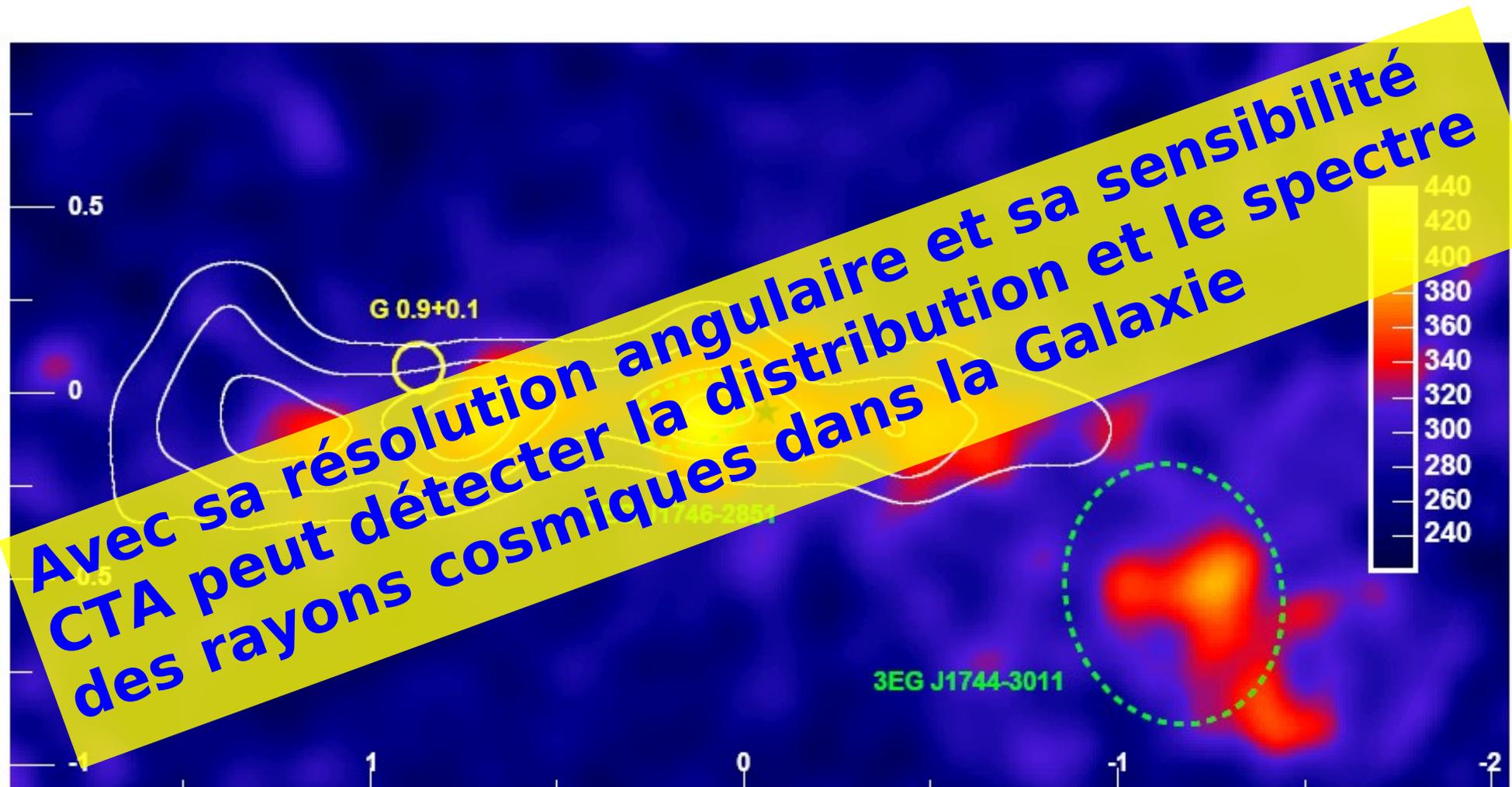
# Après la soustraction des sources ponctuelles

Présence de nuages moléculaires :  
contours radio montrent les raies de carbone-souffre (CS)  
traceur de la matière



# Après la soustraction des sources ponctuelles

Présence de nuages moléculaires :  
contours radio montrent les raies de carbone-souffre (CS)  
traceur de la matière



# 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  $\gamma$

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

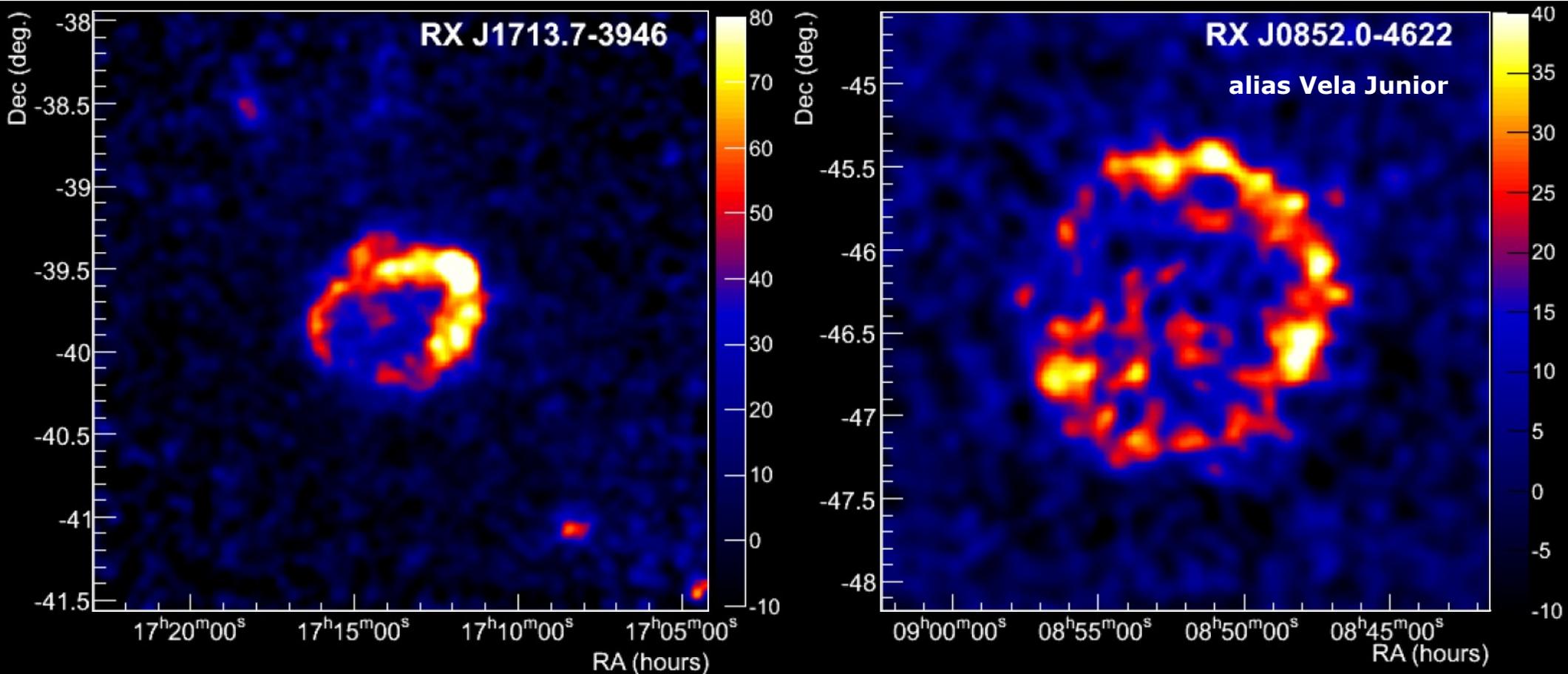
RX J0852.0-4622:  $2^\circ$

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

gal latitude  $b=1.2$

Coquille fine en  $\gamma$

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



# 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  $\gamma$

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

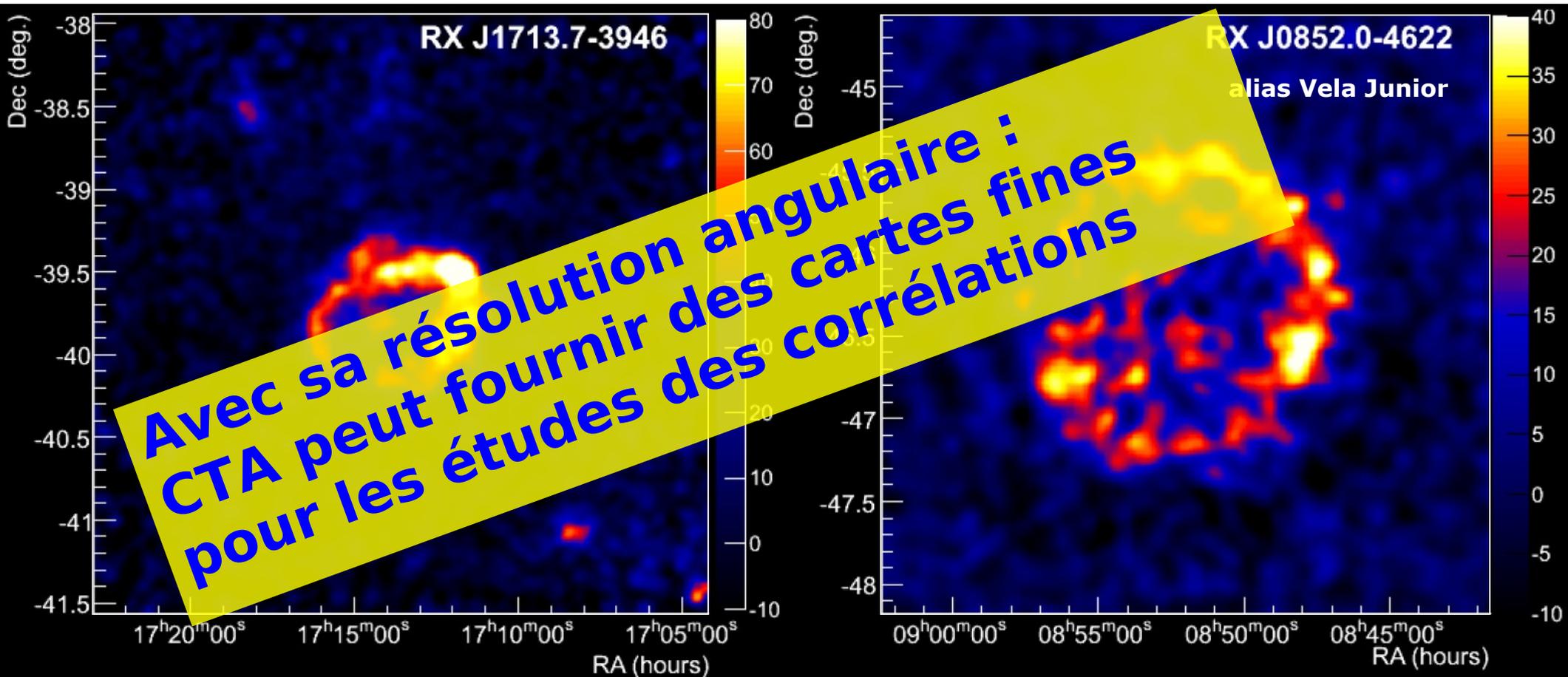
RX J0852.0-4622:  $2^\circ$

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

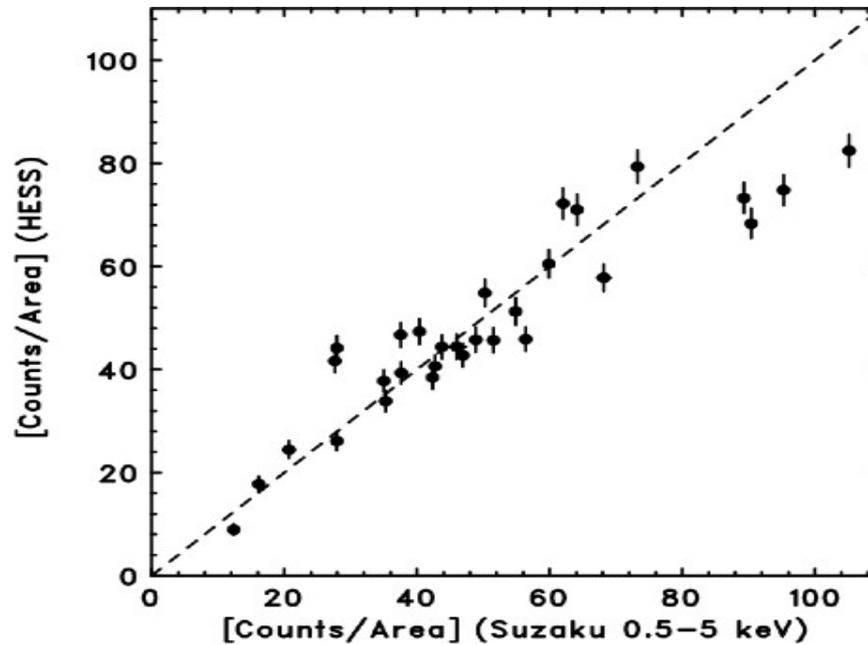
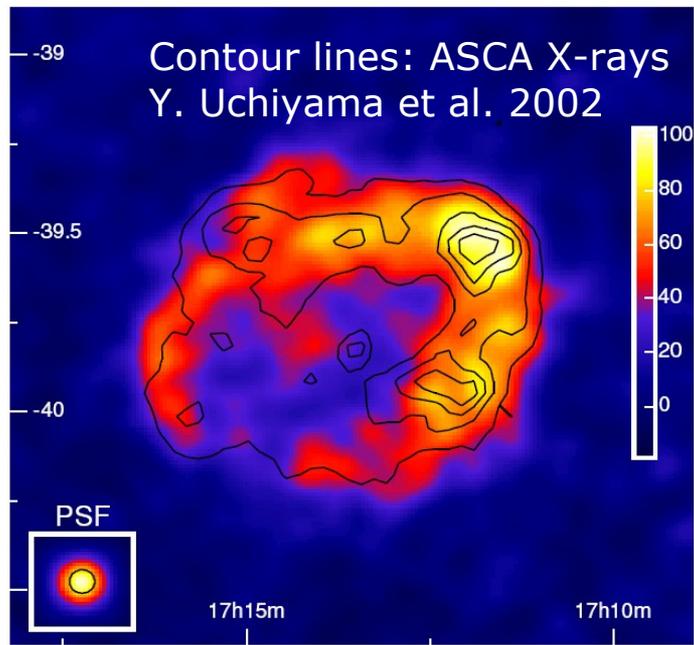
gal latitude  $b=1.2$

Coquille fine en  $\gamma$

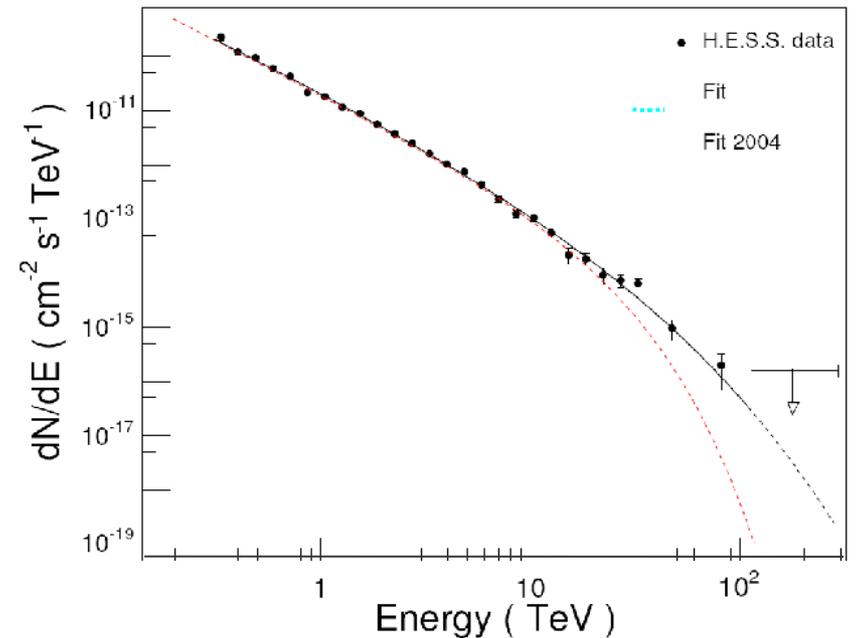
Corrélation avec les rayons X  $\sim 65\%$

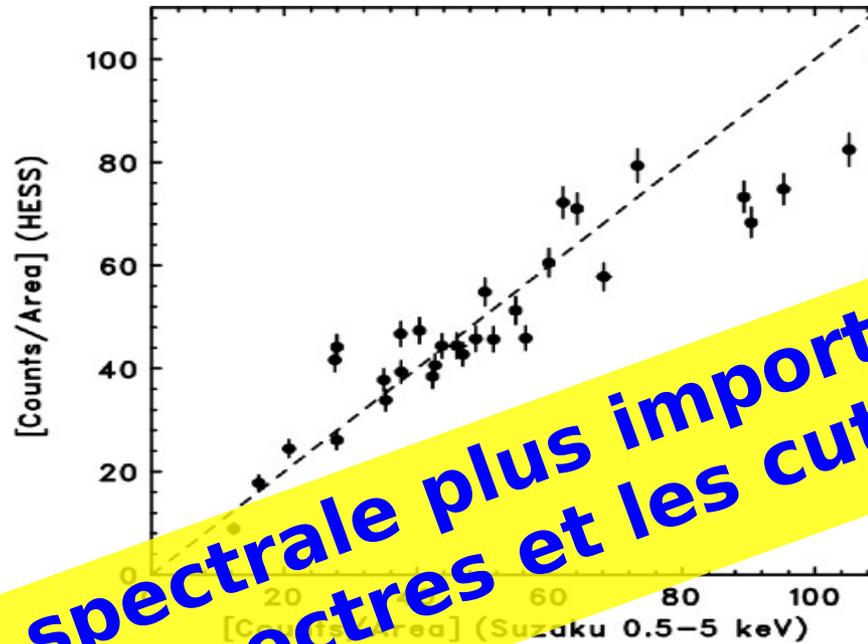
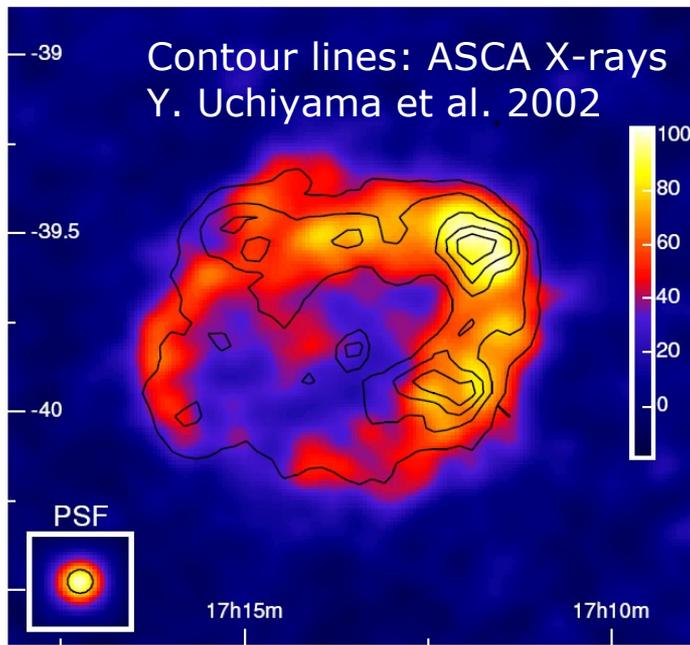


# RX J1713.7-3946 : hadrons vs. leptons



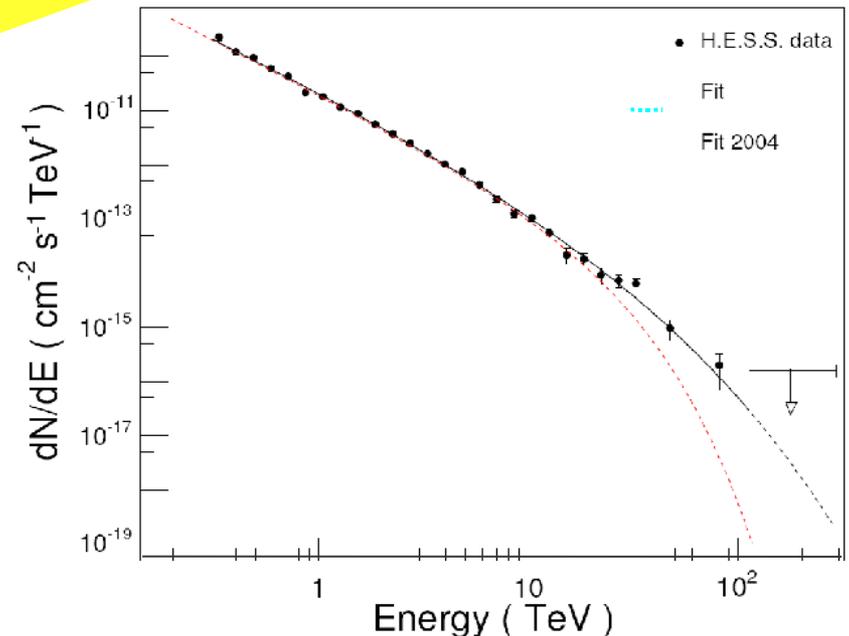
- Forte corrélation  $\gamma/X$  (80%)
- La corrélation  $\gamma/X$  favorise les modèles leptoniques ( $\rightarrow B \sim 10 \mu\text{G}$ )
- L'index spectrale mesuré par H.E.S.S est  $\sim 2.0$ , la coupure dans le spectre est à 20 TeV
- L'index spectrale est constant sur à travers le SNR



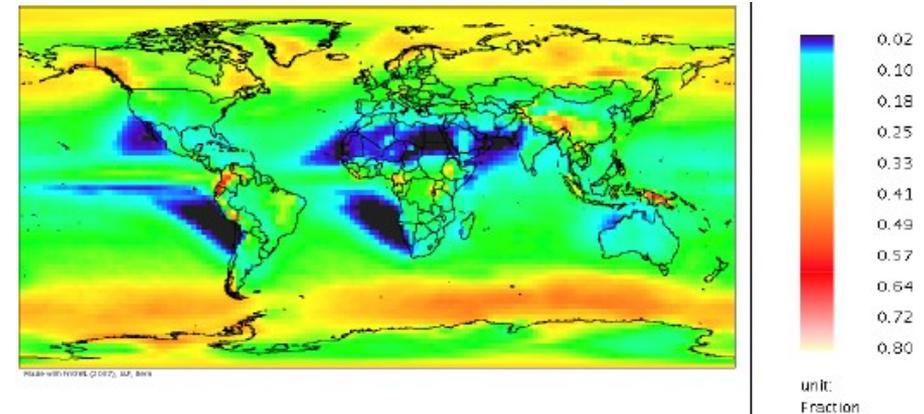
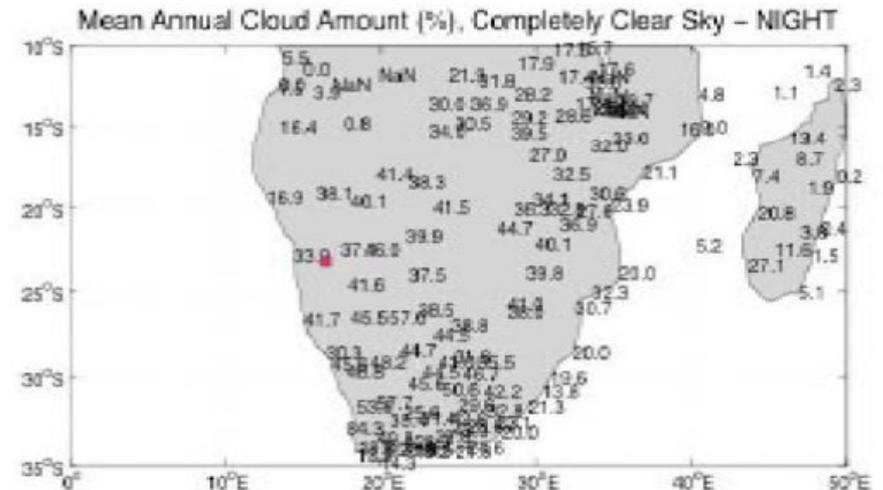


- Forte corrélation (80%)
- La corrélation favorise les modèles leptons (→  $B \sim 10 \mu\text{G}$ )
- L'index spectrale mesuré par H.E.S.S.  $\sim 2.0$ , la coupure dans le spectre est à 20 TeV
- L'index spectrale est constant à travers le SNR

**Avec son intervalle spectrale plus important CTA peut mesurer les spectres et les cut-offs**

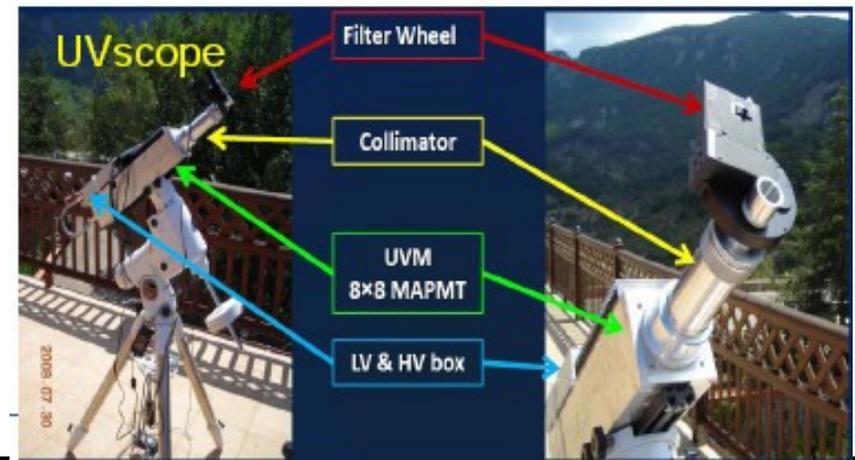


- Le choix des sites candidats se fera par des études des données existantes (météo, satellites)
- Les critères qui ont été définis sont
  - Transparence de l'air
  - Pollution lumineuse
  - Couverture nuageuse
  - Extinctions (poussière,...)
  - Altitude
  - Vent (vitesse < 40 km/h)
  - Surface disponible
  - Infrastructures
  - Routes, hôpitaux, accessibilité...
  - Support local



FriOWL outil de selection de sites  
<http://www.iapmw.unibe.ch/research/projects/FriOWL/>

- Mesures précises ensuite :
  - Visites sur le sites pour l'évaluation de l'infrastructure
  - mesures atmosphériques par LIDAR, photométrie, ballons
- Liste des sites actuels (à compléter ?):
  - Argentine, Namibie, Afrique du Sud
  - Canaries et Maroc



# Conclusions

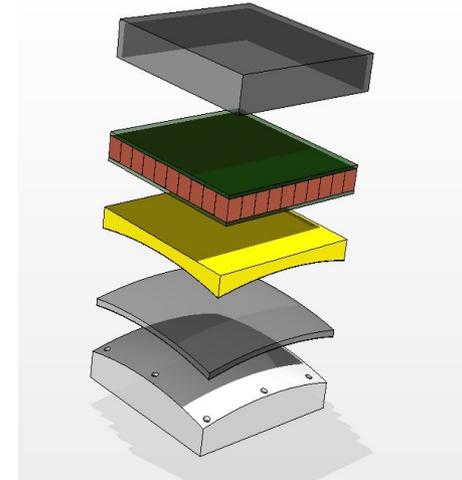
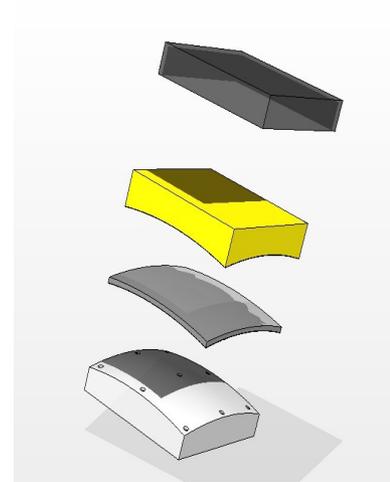
- CTA est le projet de l'avenir en astronomie gamma
- Avec ses performances CTA pourra se permettre un vaste programme scientifique afin de mieux comprendre les phénomènes cosmiques de très haute énergie
- Le projet est reconnu par les roadmaps européennes et françaises
- Il y a une bonne base d'équipes en France qui sont engagées sur plusieurs fronts : analyse, études Monte Carlo, électronique, miroirs, caméras

- 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 le LDMAPS 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

**Merci !!**

- Cahier de charges

- Area 1-2.5 m<sup>2</sup>, shape = hexagonal, weight < 30 kg/panel, PSF < 0.6mrad (or 1/2 pixel size)
- Rigidity
- Operating temperature range: -10° C to +30° C.
- Reflectance > 80% for wavelengths in the range from 300 to 600 nm



- Solutions éprouvées

- Verre aluminisé (solution HESS, mais avec nouvelle techno hot ou cold slumping)
  - **Moyen cout, souffre de vieillissement, poids important**
- Alu usiné sur nid d'abeille alu (solution MAGIC)
  - **Faible vieillissement, faible poids, haut cout**

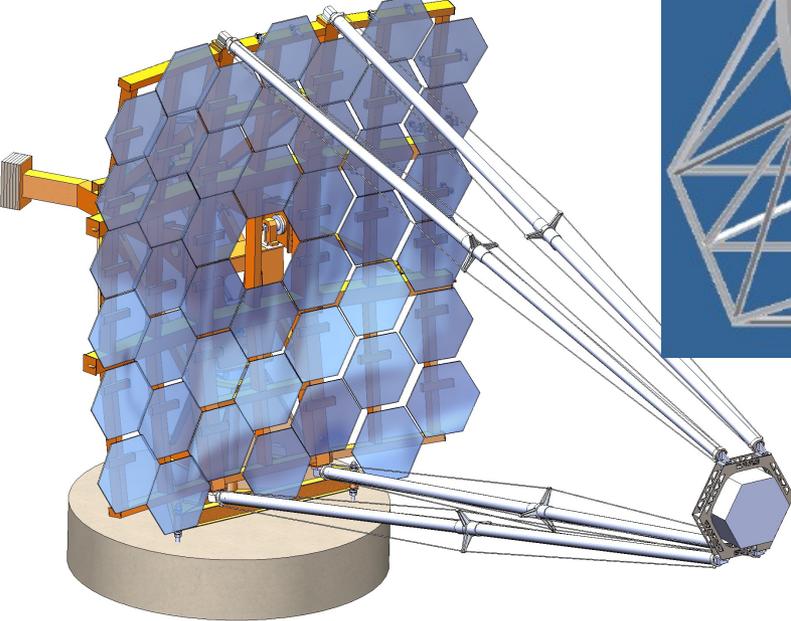
- Nouvelles solutions proposées

- Miroirs en composite carbon-epoxy
  - **Faible cout probable, faible poids, performances inconnues**
- Miroirs en mousse polyurethane, face avant verre (Saclay)
  - **Faible cout probable, faible poids, performances inconnues (problème de givre connu)**

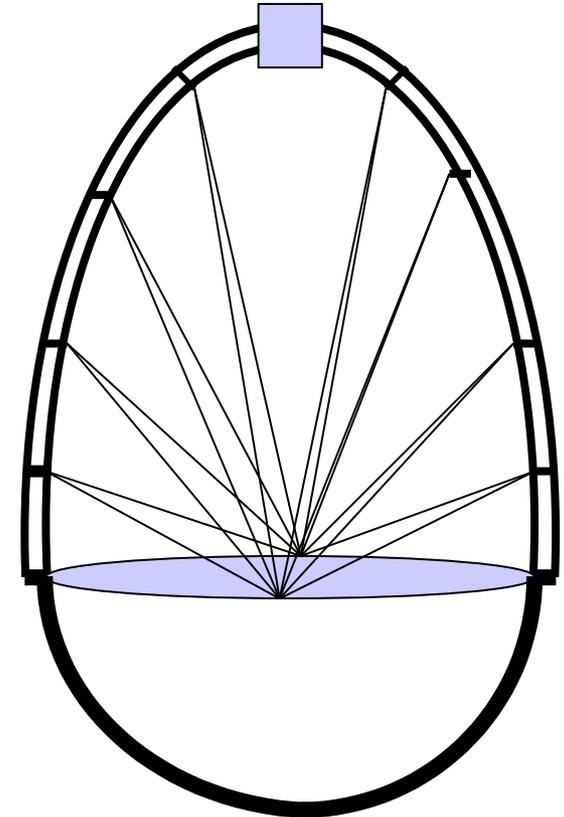
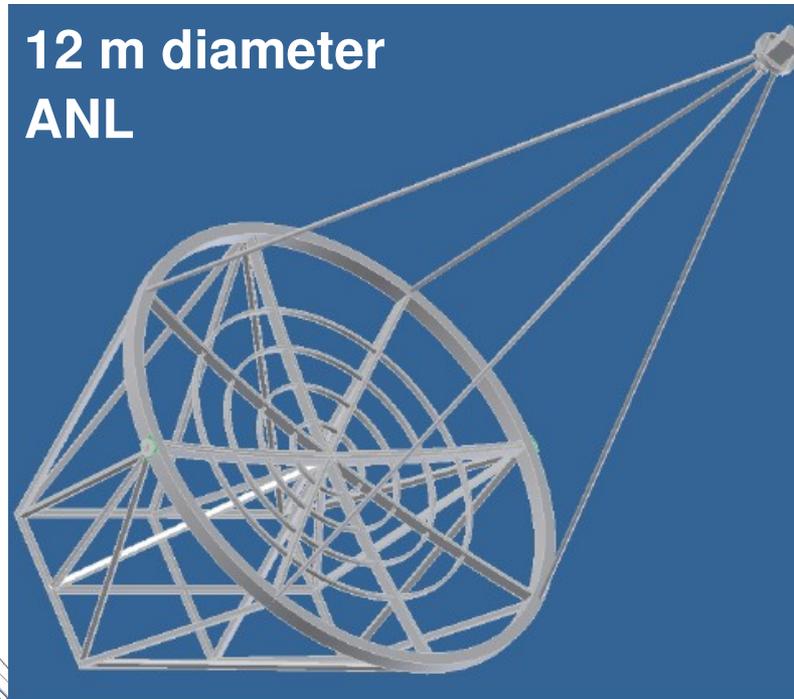
# WP6 : Design of telescope structure, drive and control systems

- Some of the sample designs... several other labs working on the question (IRFU, ...)
- Drive and safety concepts (DESY...)
- Active mirror control concepts (ETH Zurich)

**6 m diameter  
MPI-K / IFJ PAN**



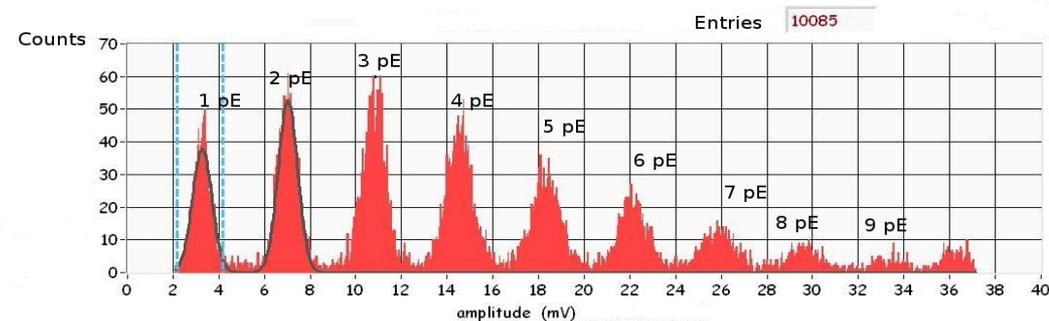
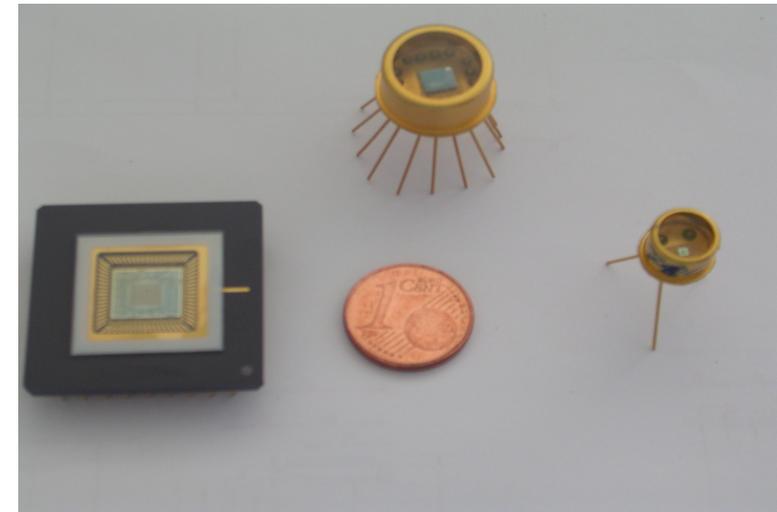
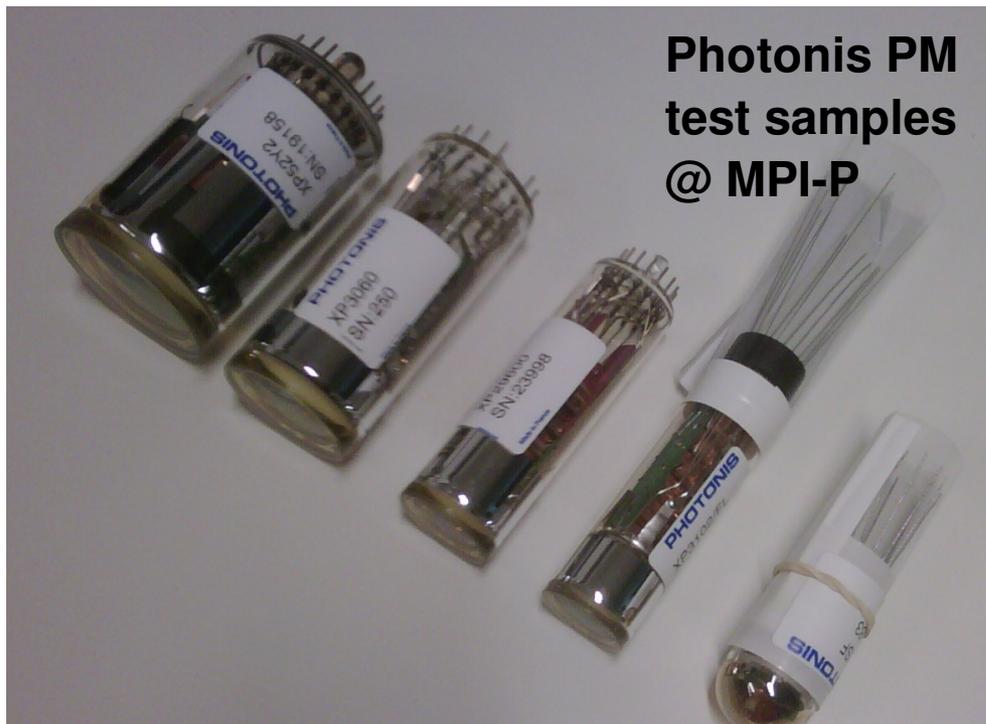
**12 m diameter  
ANL**



**23 m diameter  
MPI-P**

# WP7 : Focal plane instrumentation

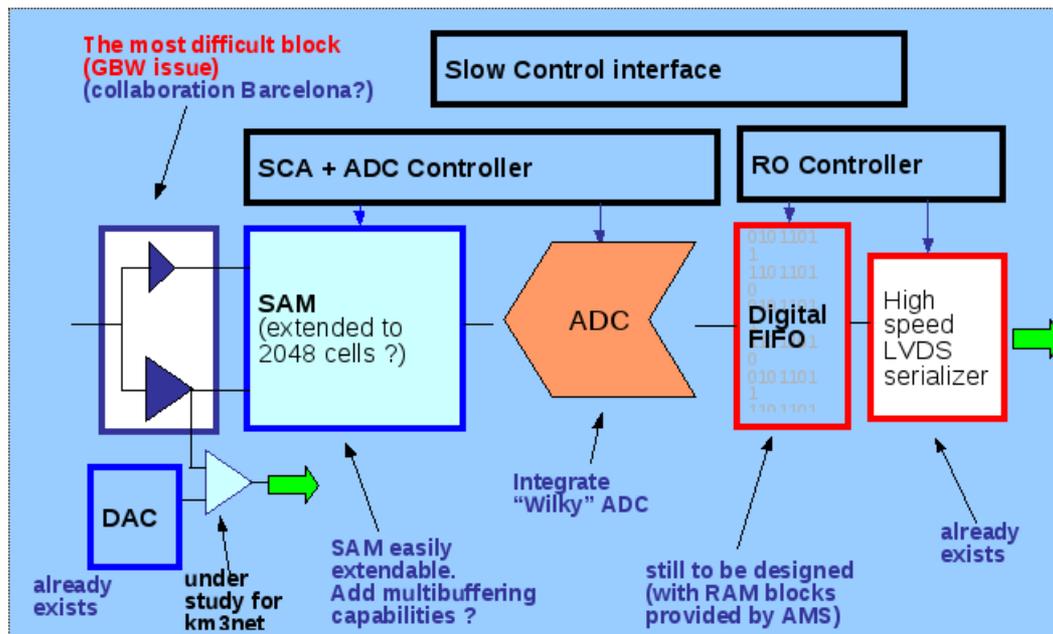
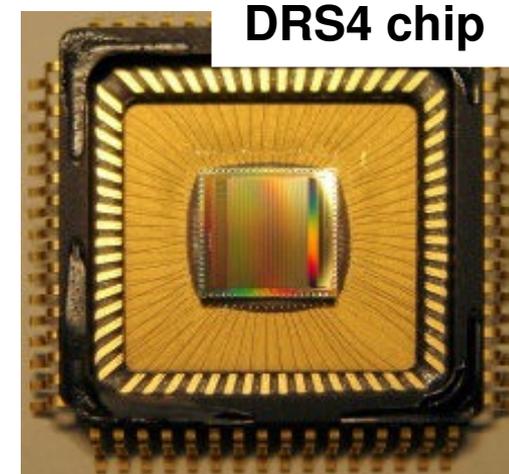
- Clear decision (with ELEC) to have a fully-integrated camera
  - Advantages: Communication of data rather than signals, reduction in cabling, modularity at the camera level (spare = camera). Disadvantages: heavier camera, all-weather protection or shelter required
- PMT measurement of many samples underway (standard, super/ultra-bialkali, hemispherical window, multi-anode, flat-panel...) in coming months.



- Studies of new technologies (SiPM, APD) a future upgrade option, with camera design for easy inclusion, where possible

# WP8 : Electronics

- Analogue pipeline solution for the in-camera acquisition, several GHz-sampling most probable solution (existing SAM, DRS3, future DRS4, NeCTAr, from IRFU/IN2P3 and PSI/Pisa), aim to integrate the maximum functionality in ASIC
- NeCTAr
  - Amplification followed by long analogue pipeline
  - Pixel-level trigger comparator controlled by DAC level
  - On-board ADC for conversion
  - Digital FIFO and serializer for data transmission
  - Ethernet-output?



## DRS4

1024 sampling cells per channel  
 High speed 6 GHz,  
 High density 9 channels/chip  
 High resol. 11.5 bit  
 Timing resol. 3 ps  
 Readout speed 30MHz

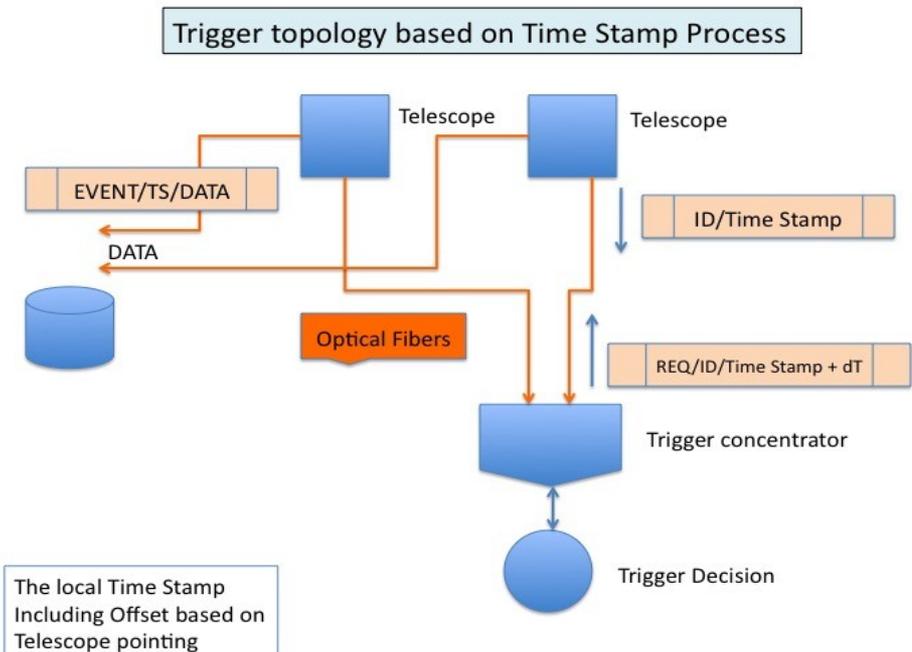
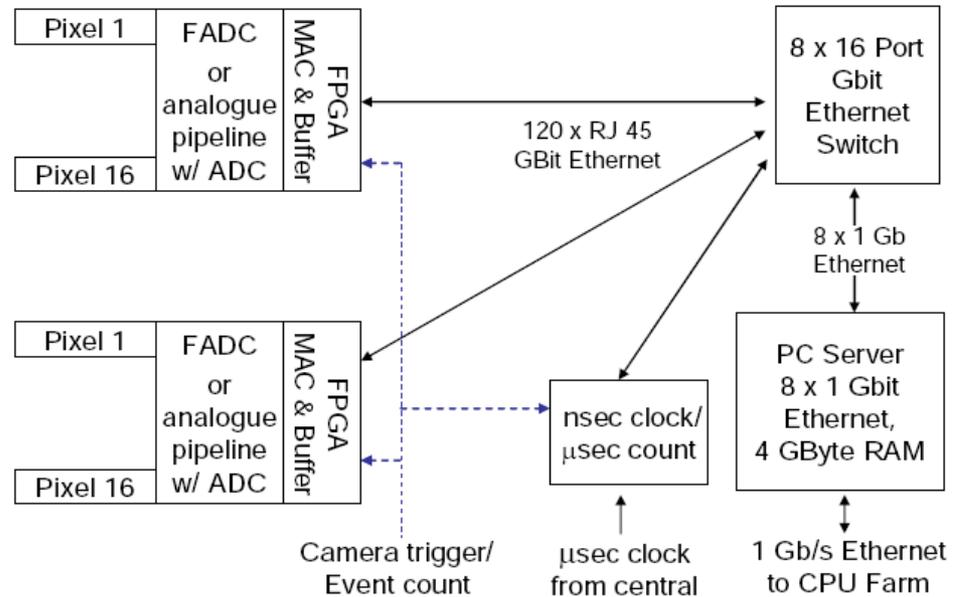
Low power (10-40 mW / channel)

Low cost (~ 10\$ / channel)

But, External ADC needed

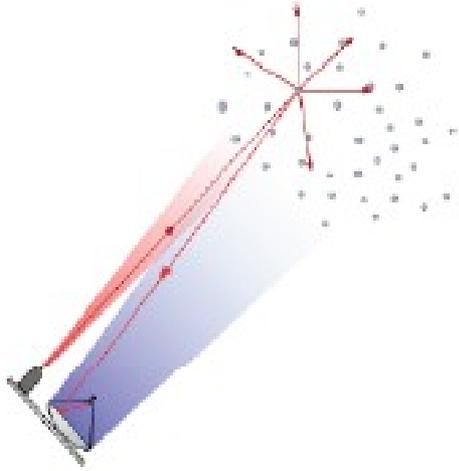
# WP8 : Readout electronics and trigger

- Camera-level Trigger, by sectors / clusters (not critical), INFN Pisa/Padova, MPI-P
- Read-out using the maximum of commercial components / protocols... e.g., GigaBit ethernet via UDP, perhaps on ASIC, 5MB/sec per module in camera), GigaBit switches in-camera to send events as receivers (MPI-K)
- Inter-telescope trigger with central array clock-distribution over fibre (à la Antares), event time-stamping, real-time (re)programmable coincidence determination (APC/MPI-K)



Propagation of Cherenkov light:

- Scattering: Raileigh -> Molecular, Mie -> Aerosol
  - Absorption and reflection: (Ozone), Aerosol, Clouds...
- Very fast variation -> data rejection/correction



Cloud Camera (1/4)

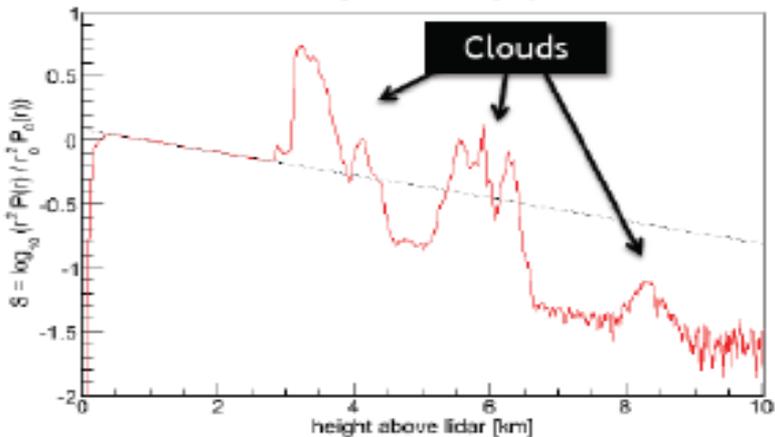
*Clouds*



LIDAR (1/4)



Central Laser Facility



- CTA opéré comme un Observatoire:
  - temps ouvert, données accessibles à une large communauté rapidement
- Responsabilités du WP10 - OBS
  - Coordonner les opérations (maintenance, personnel local, opérations techniques, demandes de temps, planification, pipeline pour les données...

- Responsabilités du WP11 – DATA
  - Conception d'une architecture logicielle, qui recouvre tous les aspects de CTA
  - Soumission de propositions d'observations
  - Construction d'un programme d'observation
  - Réalisation des observations, archivage
  - Production de données calibrées
- Besoins:
  - Fonctionnement efficace et stable de O(100) télescopes
  - Gestion (complexe) des observations (nombreux degrés de liberté)
  - Accès simple à un volume important de données (~0.5 PB/year), sous des formes variés (données brutes, DST, « high level products » : cartes, ...)
- Architecture logicielle pour:
  - Opérations scientifiques
  - Prises de données
  - Calibrage, traitement, et dissémination
  - Dissémination (GRID?)
- S'inspirera des architectures existantes (HESS-MAGIC)

- Activité transverse et non parallèle - à intégrer dans chaque WP
- La démarche qualité consiste à :
  - définir une organisation garantissant un niveau de qualité souhaité et adapté au besoin et au contexte de travail
  - mettre en place des outils et méthodes visant à assurer la maîtrise et l'amélioration continue des processus.
- Elle s'appuie sur des « principes » et « méthodes » définis dans des normes
- Elle s'inscrit dans une gestion de projet
- Elle s'appuie sur un système de gestion documentaire
- En 'stand-by' (CDD IE demandé - APC)



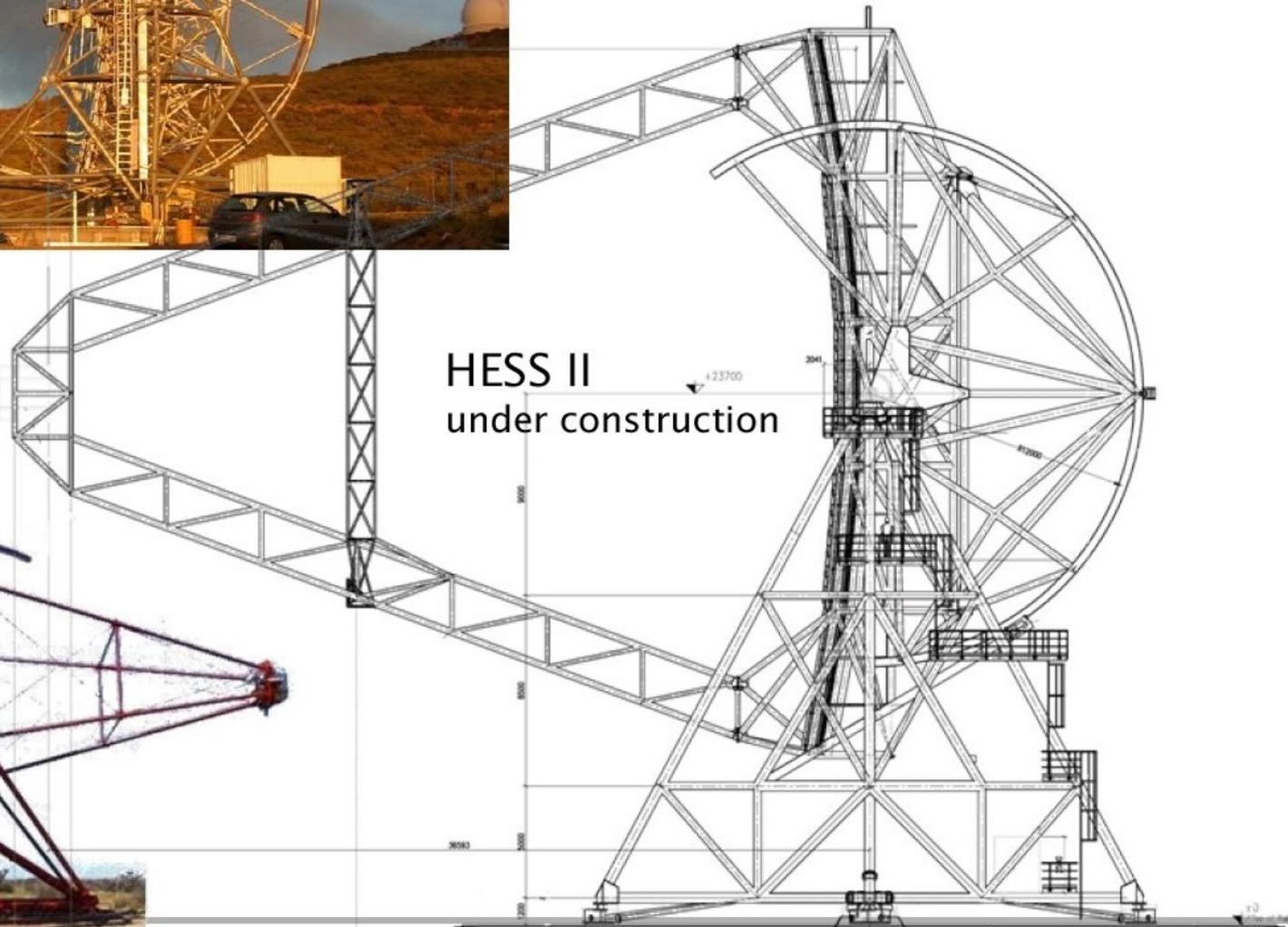
*Building blocks*



identical  
scale

HESS II  
under construction

HESS I

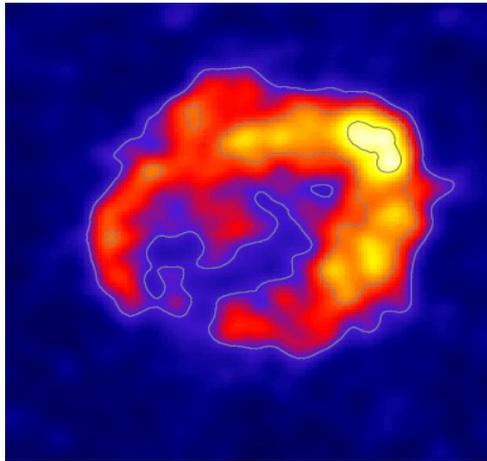


## Le consortium CTA

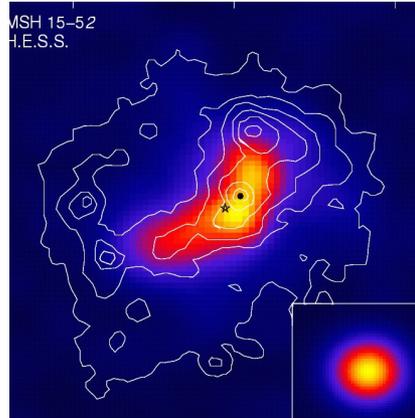
Armenia	Yerevan
Czech Republic	Prague
Germany	HU Berlin, Bochum, DESY, Dortmund, Erlangen, Hamburg, MPI Heidelberg, U. Heidelberg, MPI Munich, Tübingen, Würzburg
Finland	Turku
France	Annecy, Grenoble, Montpellier, LLR Palaiseau, APC Paris, Obs. Paris-Meudon, U. Paris VI-VII, CEA Saclay, Toulouse
Italy	INFN Padova, Pavia, Pisa, Trieste, Rome, Siena, INAF Rome, Brera, Bologna, Padova, Palermo, Torino, ...
Ireland	DIAS Dublin, ...
Namibia	U. Namibia
Poland	Cracow, NCAC Warsaw, U. Warsaw, Lodz
Spain	IFAE, IEEC, UAB, UB Barcelona, UCM Madrid
South Africa	Northwest-Univ.
Switzerland	ETH Zurich, U. Zurich, Geneva, PSI
UK	Leeds, Durham, ...
more interested	<b>Argentina, Denmark, Japan, Netherlands, Russia, US (AGIS)</b>

... et la participation d'autres partenaires est bienvenue

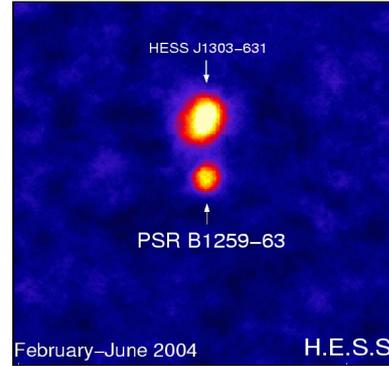
# Principaux résultats en gamma par H.E.S.S.



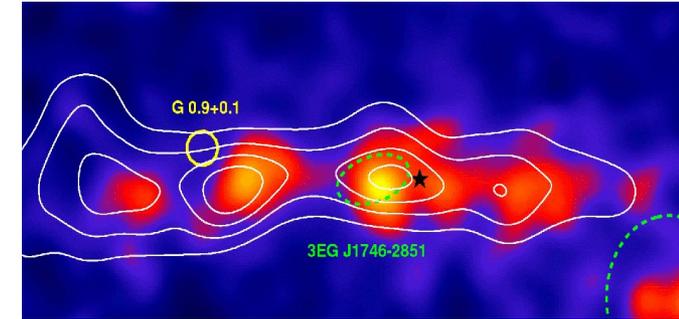
SNR & sources de RC gal.



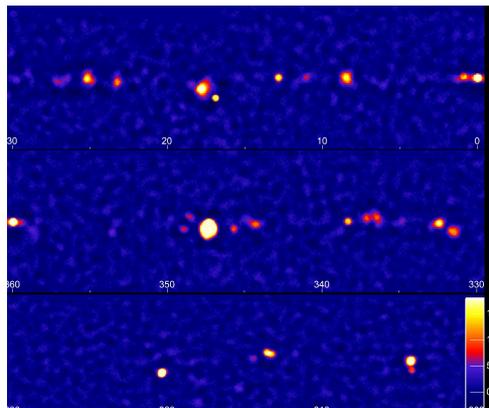
Plérions & Pulsars



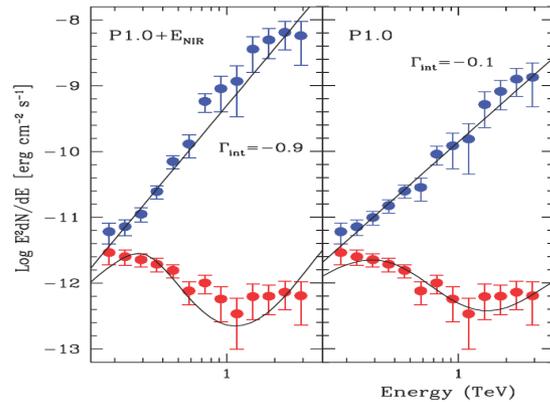
Sources "noires"



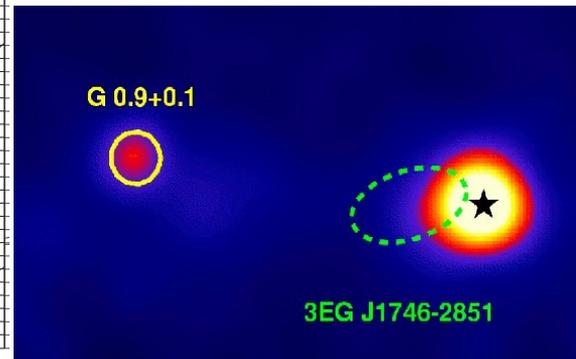
Propagation De RC



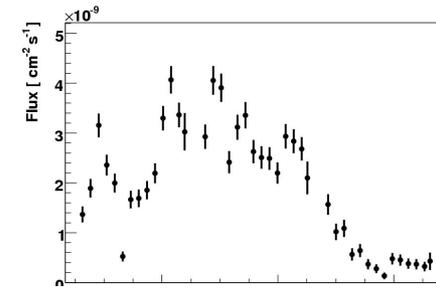
Études de population



Cosmologie & EBL



Matière noire & Accrétion de SMBH



AGNs & Jets relativistes