

Premiers Résultats de H.E.S.S. et Observations du Centre Galactique

Loïc Rolland
LPNHE-Paris

- L'astronomie γ
- L'expérience HESS
- Les premiers résultats
- Le Centre Galactique



L'astronomie γ , une discipline émergente

Découverte des rayons cosmiques par Victor Hess en 1912

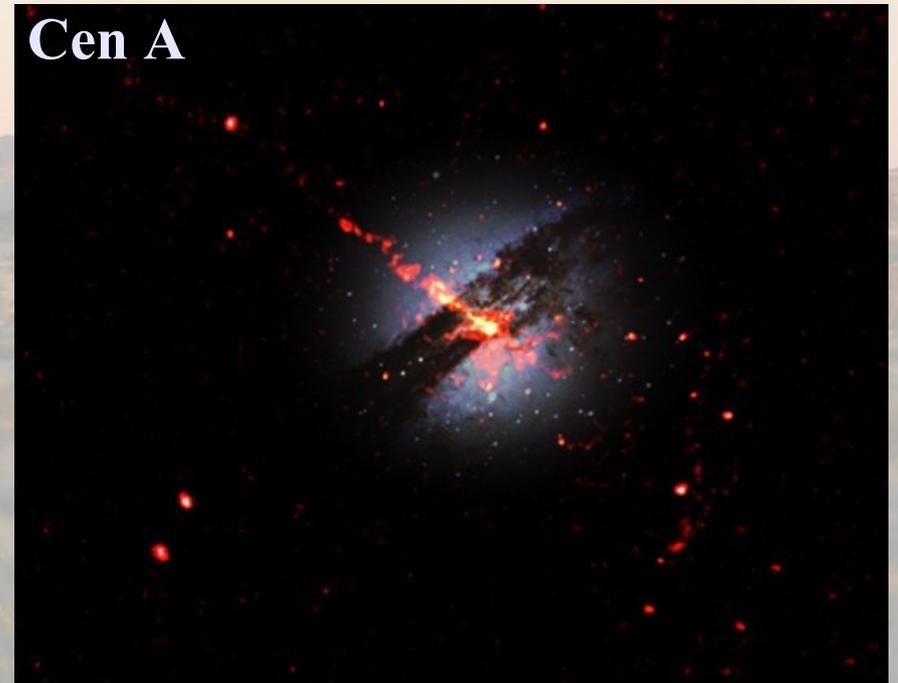
Particules accélérées \rightarrow émission de γ

Naissance de l'astronomie γ \sim 1970

Nébuleuse du Crabe



Cen A



L'origine du rayonnement γ

- **Protons ou hadrons de haute énergie**

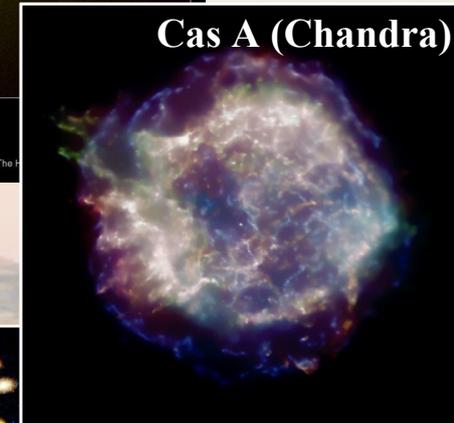
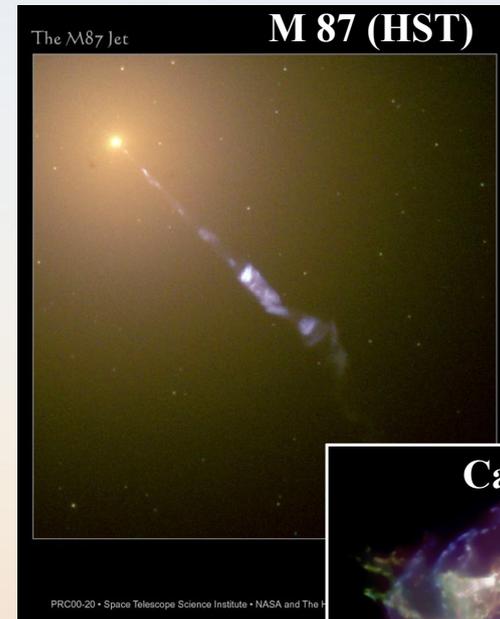
- $p + \text{noyau} \rightarrow X \pi^0 \rightarrow X \gamma\gamma$

- **Electrons de haute énergie**

- Pertes synchrotrons
 - Bremsstrahlung
 - Diffusion Inverse-Compton

- **Annihilation de matière noire**

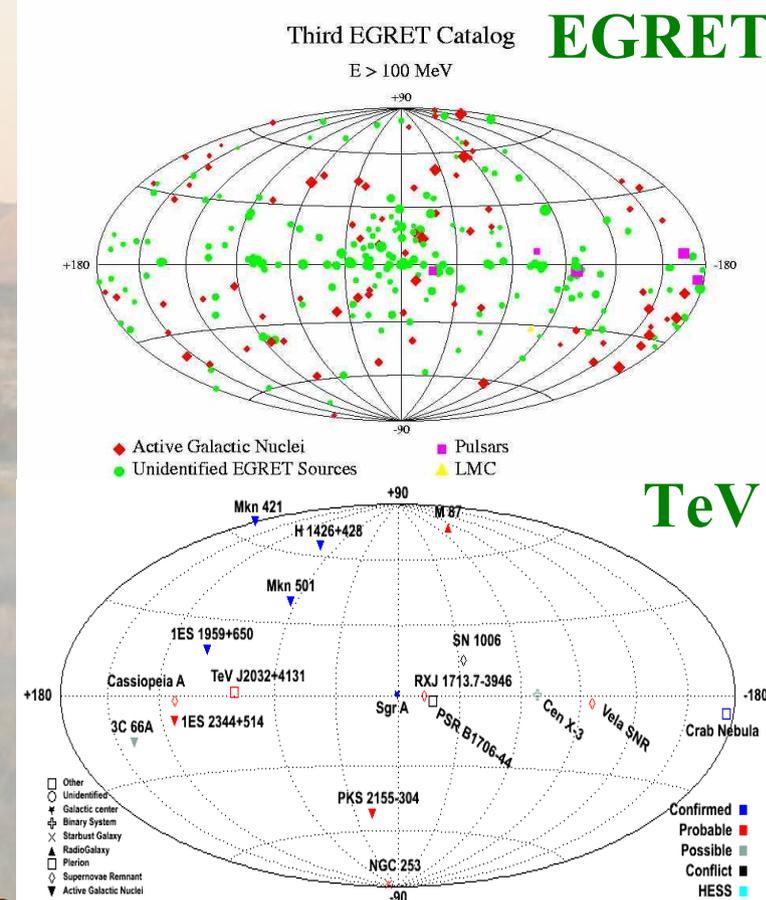
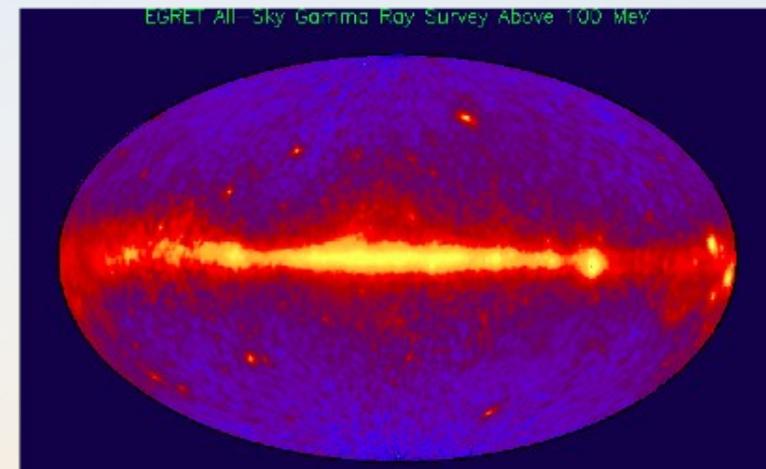
- $\chi\chi \rightarrow X \gamma$



Les sources γ détectées

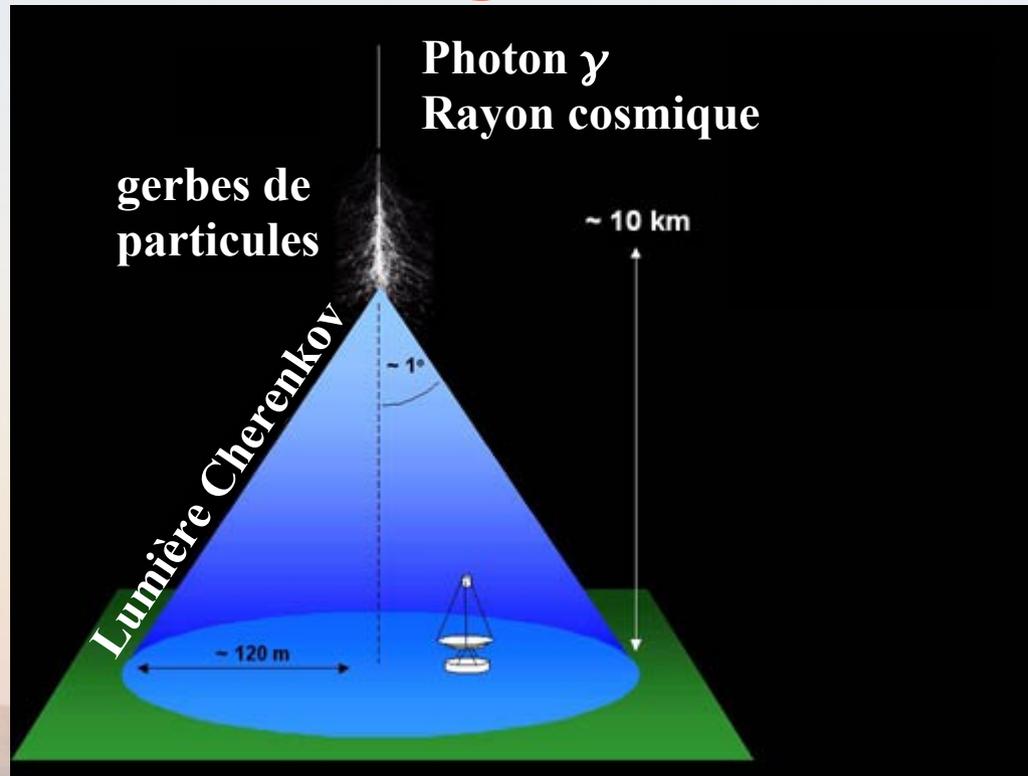
- **EGRET (100 MeV \rightarrow 10 GeV)**
 - **EMISSION DIFFUSE GALACTIQUE**
 - Interactions RC-milieu interstellaire
 - 66(+27) AGNs, 5 pulsars
 - 170 non identifiées

- **Ciel γ avant HESS (\sim 1 TeV)**
 - 3 plérions, 3 SNRs, centre galactique
 - 7 AGNs, 1 galaxie à formation d'étoiles
 - 1 source non identifiée

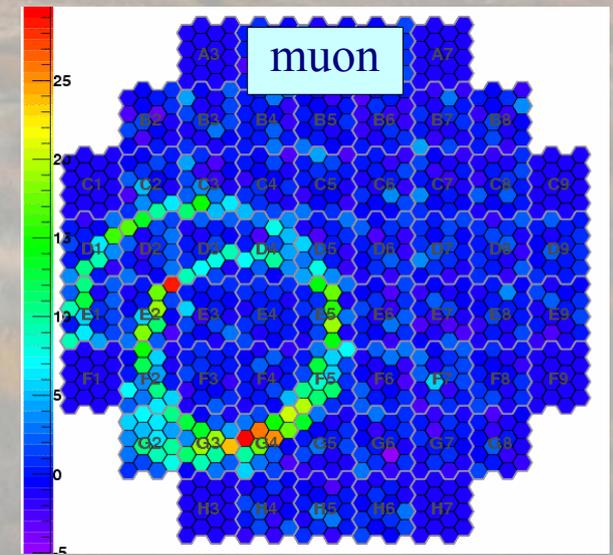
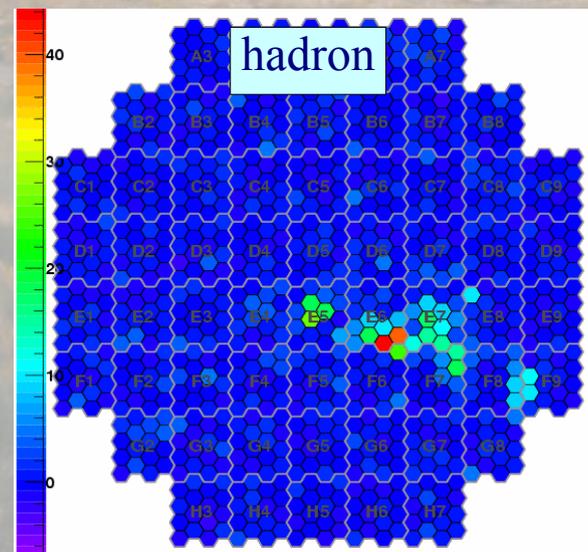
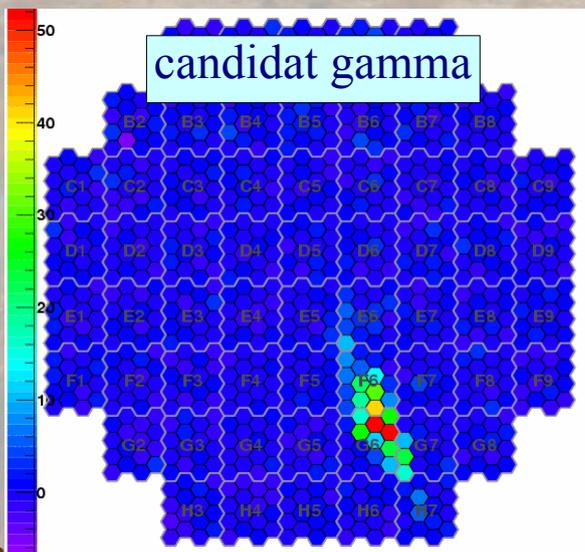
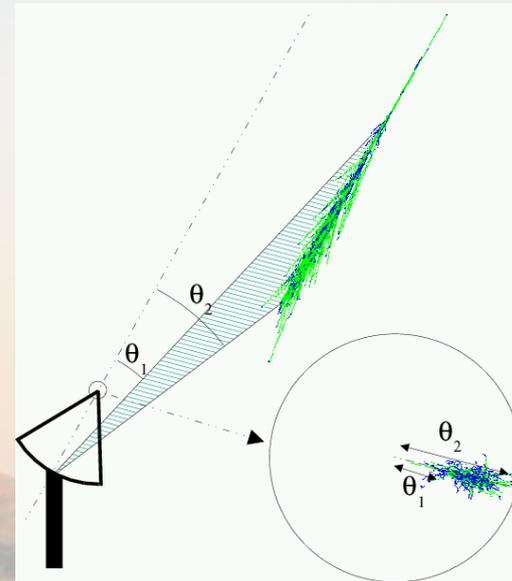


Seulement 6 sources confirmées

L'imagerie Cherenkov atmosphérique



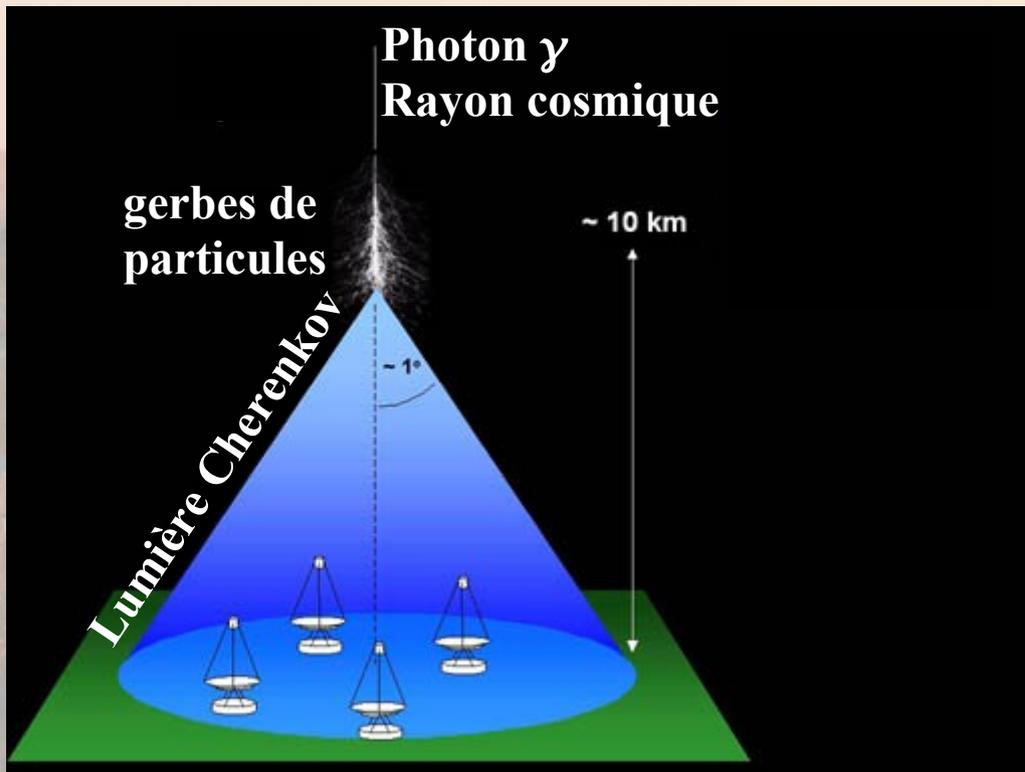
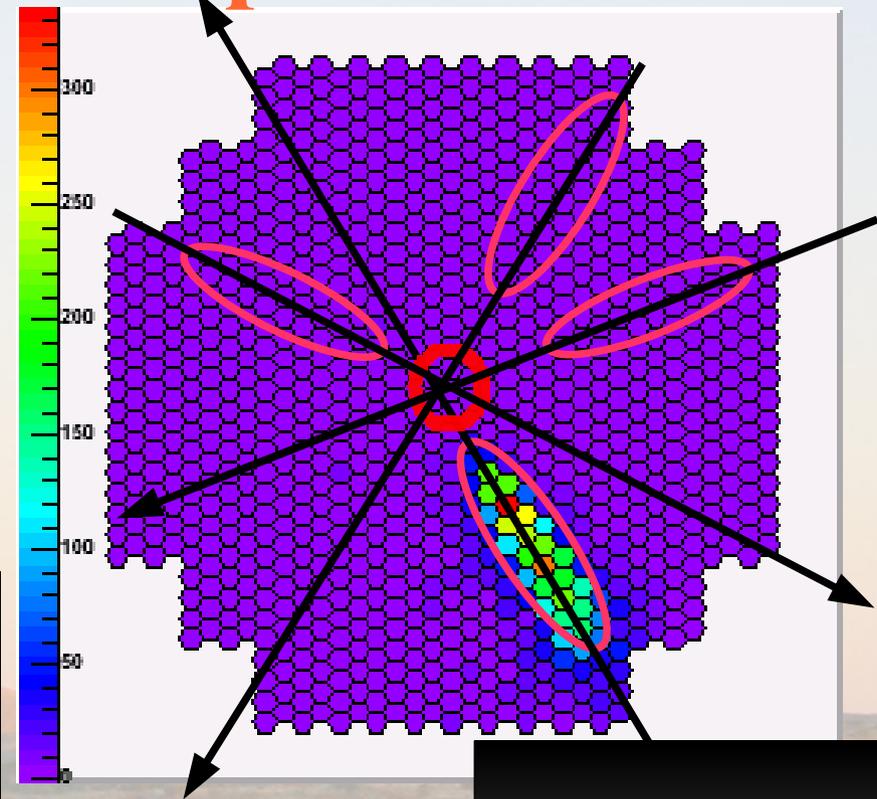
- Atmosphère = calorimètre
- Image des flashes Cherenkov (~ 3 ns)



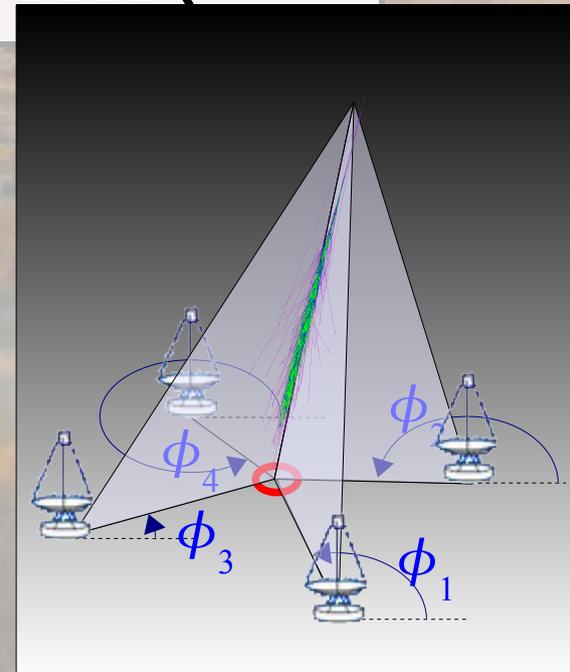
La stéréoscopie

Direction de la source

- **Éliminer les muons isolés**
- **Baisser le seuil**
- **Améliorer la réjection hadronique**
- **Améliorer la reconstruction des γ**



Paramètre
d'impact
du γ



LE DETECTEUR HESS

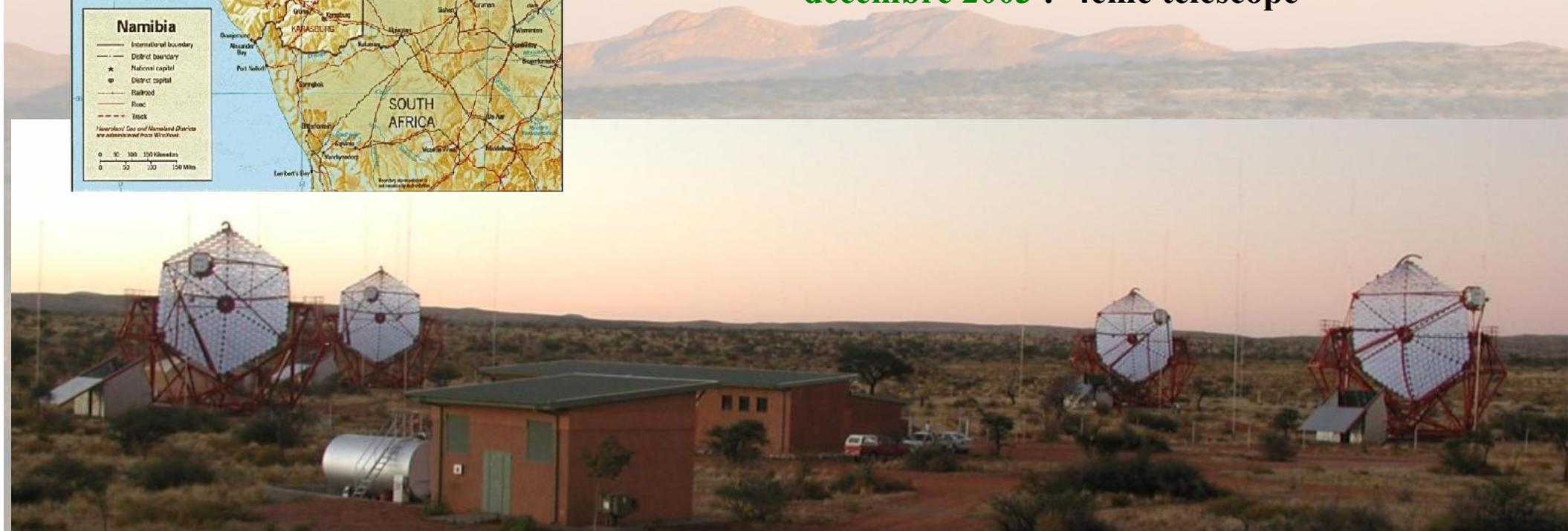


HESS : un instrument de 3ème génération

Site : Namibie,
23°16" S, 16°30" E, altitude 1800 m

La construction

- 11 juin 2002 : 1ère lumière
- 5 mars 2003 : 2ème télescope
- juin 2003 : déclenchement central
- septembre 2003 : 3ème télescope
- décembre 2003 : 4ème télescope



Les télescopes de H.E.S.S.

miroirs de 107 m² chacun

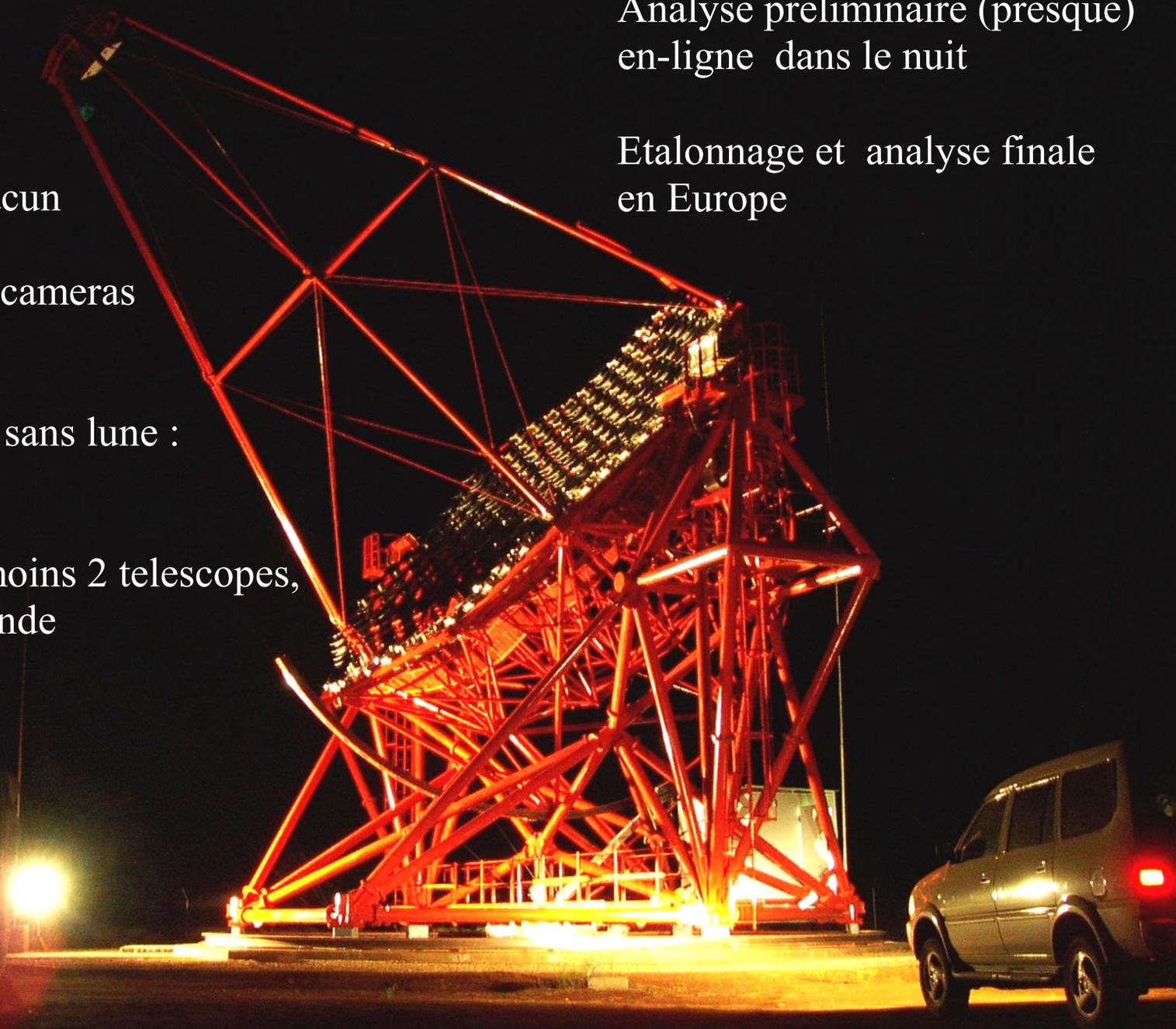
cameras de 960 PMT cameras
champ de vue 5°

Observation par nuits sans lune :
~1000 h / an

Declenchement : au moins 2 télescopes,
~300 images par seconde

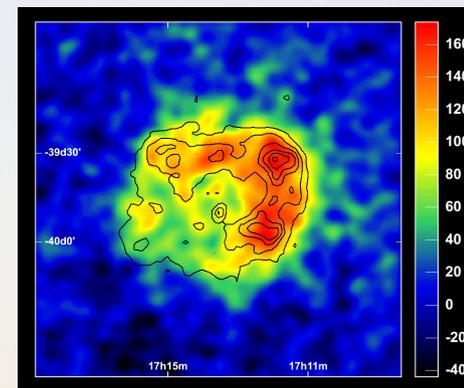
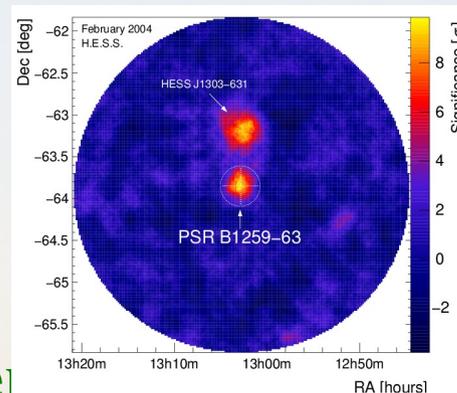
Analyse préliminaire (presque)
en-ligne dans la nuit

Etalonnage et analyse finale
en Europe



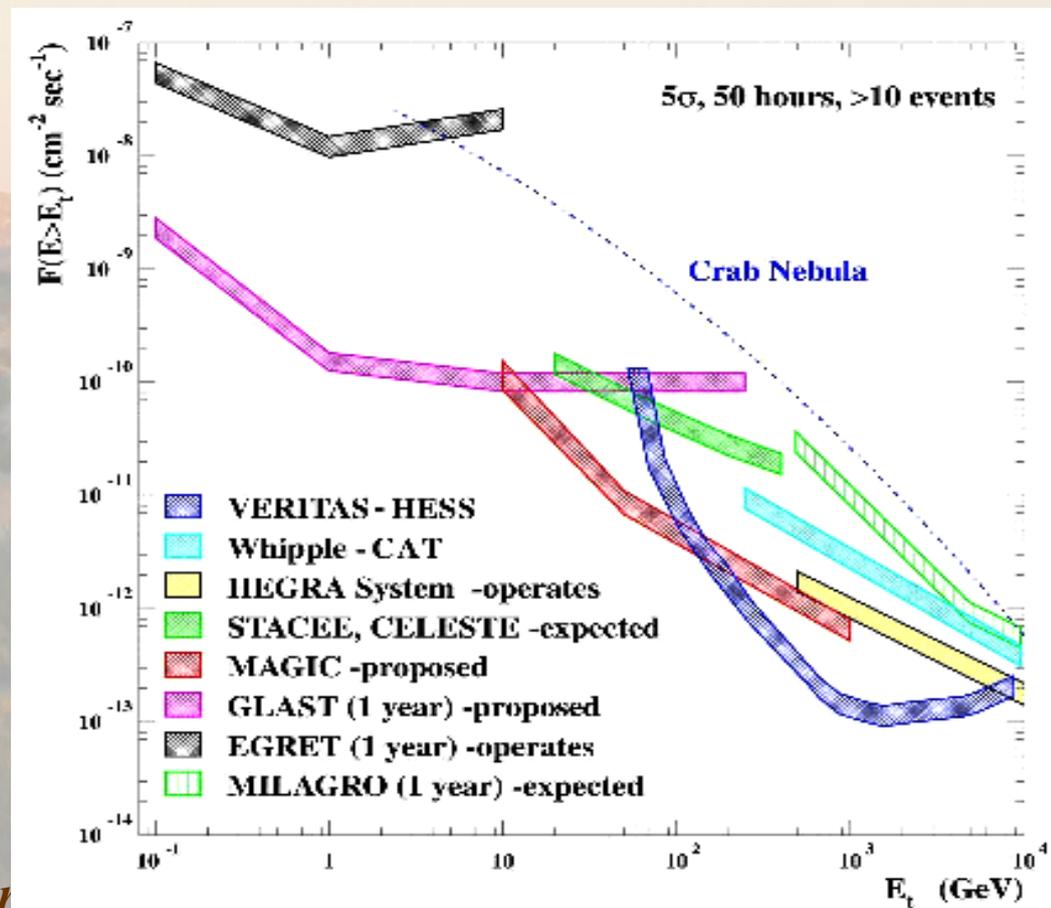
Les performances réelles

- Taux de déclenchement ~ 400 Hz
- Temps mort $\sim 10\%$
- Seuil ~ 100 GeV au zénith
- Résolution angulaire $\sim 6'$ gerbe à gel
- Résolution en énergie $\sim 15\%$



Détection Nébuleuse du Crabe au zénith :

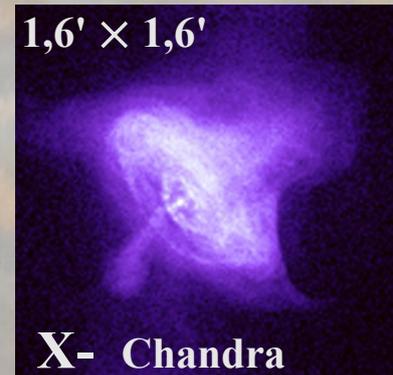
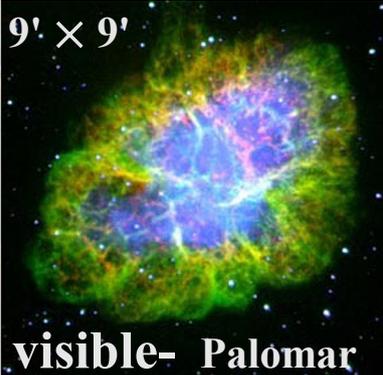
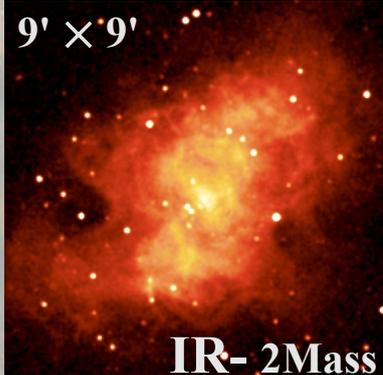
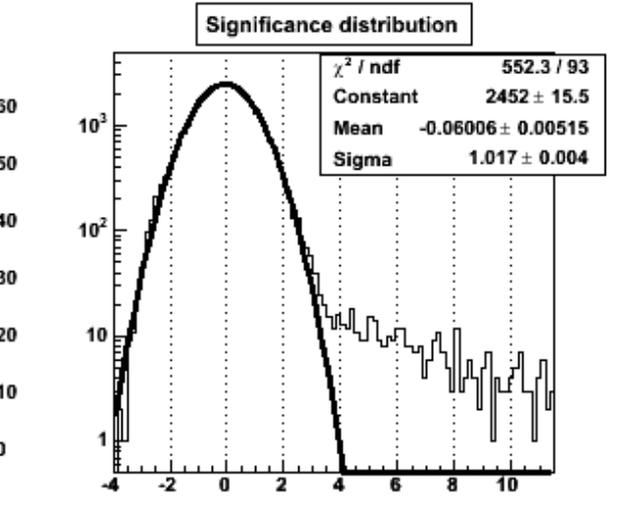
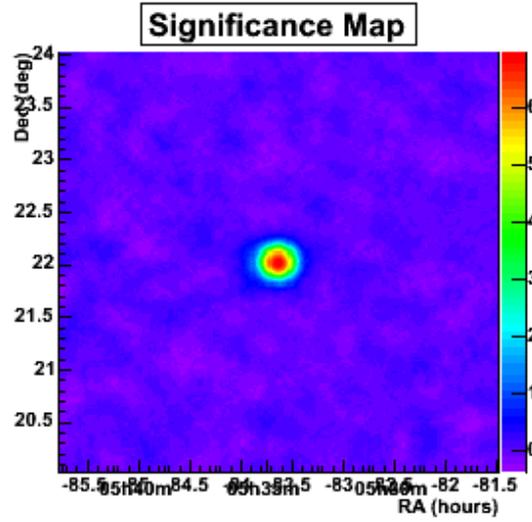
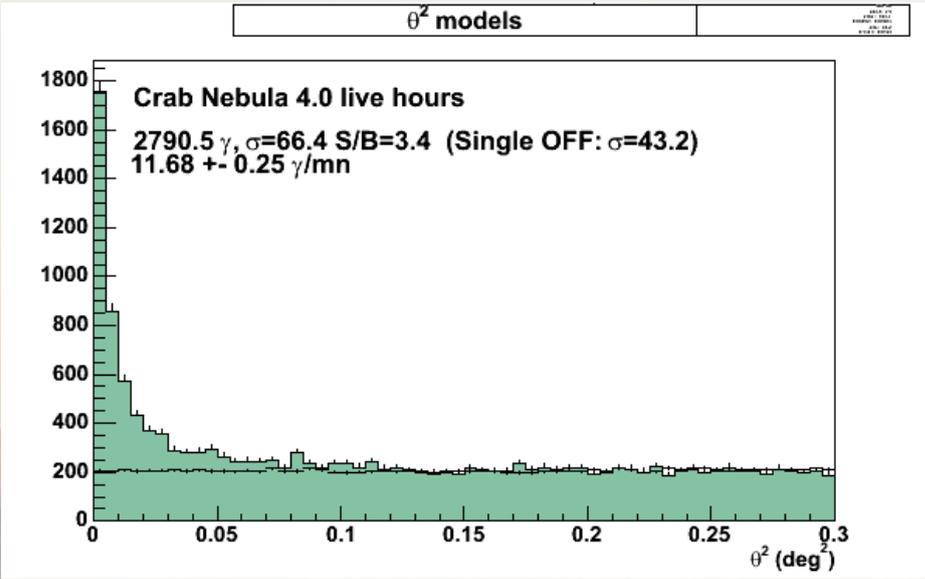
- 0,01 Crabe : ~ 25 h
- 0,05 Crabe : ~ 1 h
- 0,10 Crabe : ~ 25 min
- 1,00 Crabe : ~ 30 s



Observations du Crabe par HESS

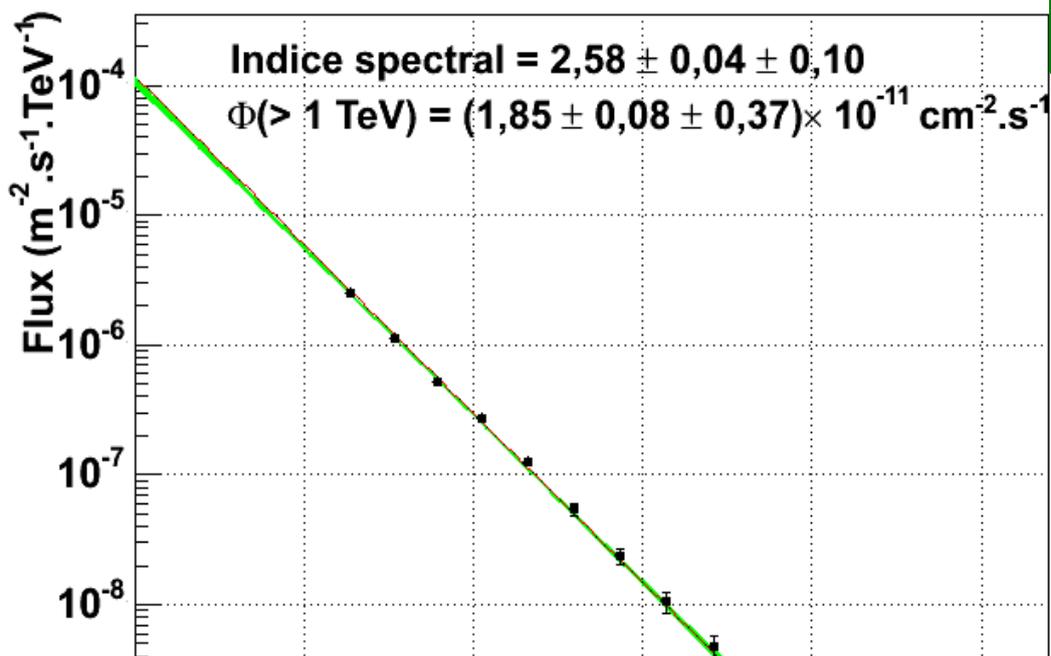
• 4 heures en 2003 avec 3 télescopes

• Signal : 67σ
• 2800 γ

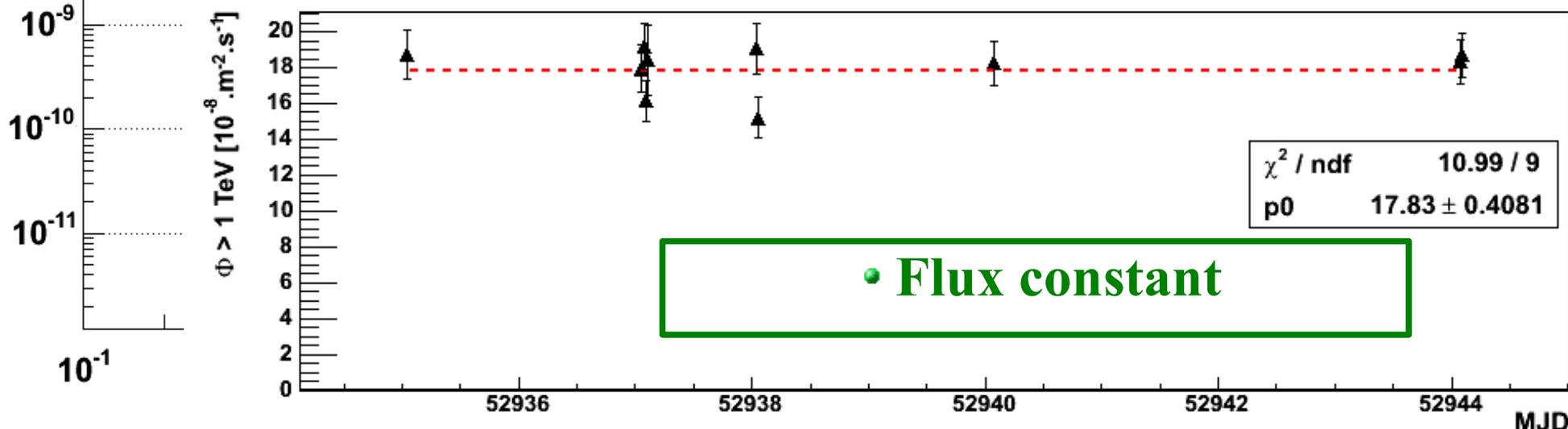


Observations du Crabe par HESS

Spectre en loi de puissance



Résultats compatibles
avec les autres
expériences



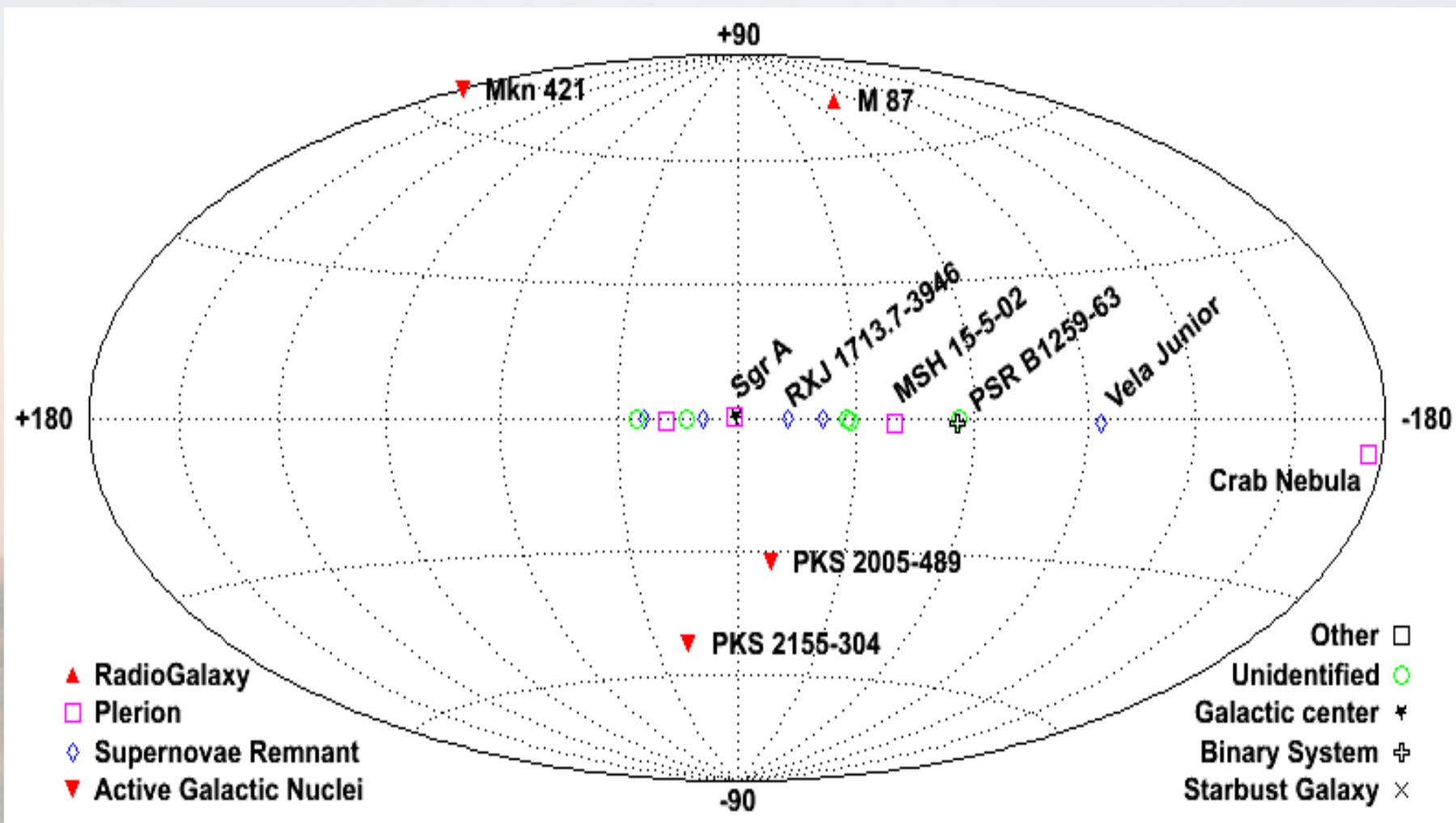
• Flux constant



LES PREMIERS RESULTATS

Les premières sources vues par HESS

<http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/HESS.html>



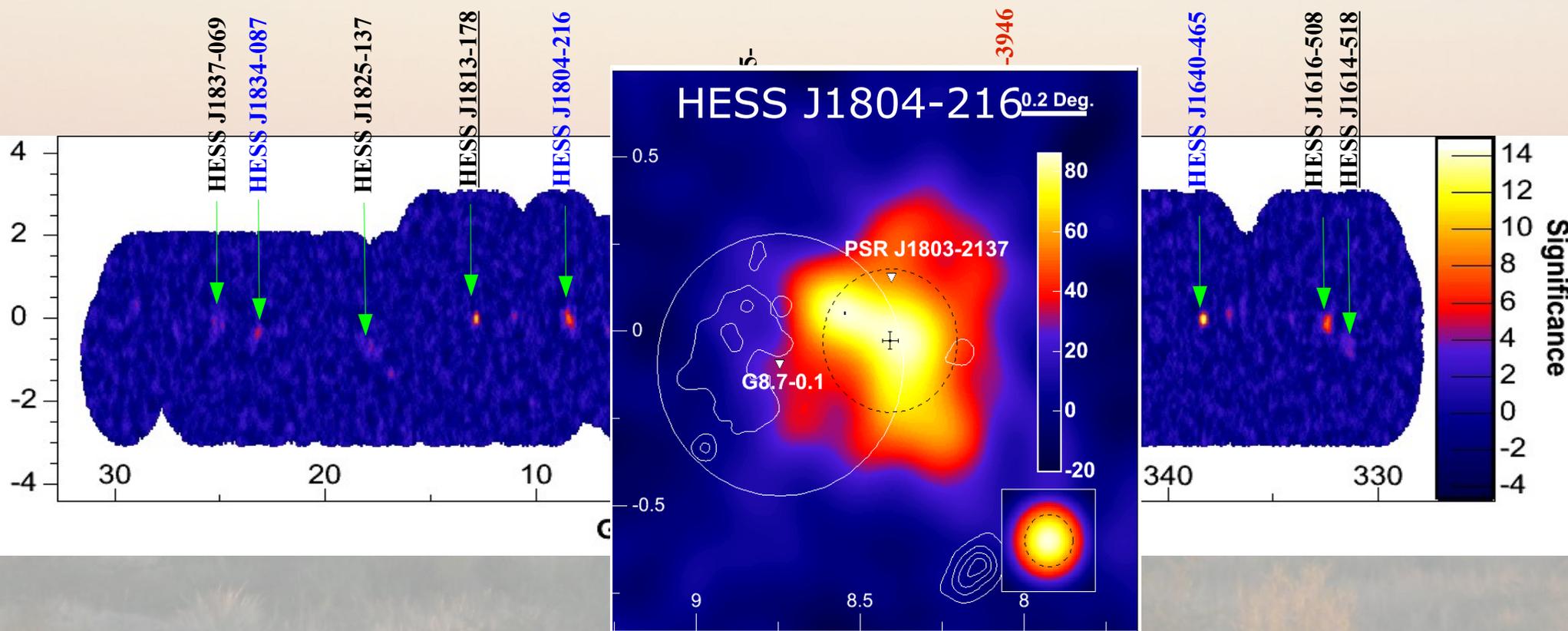
- 16 sources galactiques
- 4 sources extragalactiques

Balayage du plan galactique, $-30^\circ < l < +30^\circ$

8 nouvelles sources ($>6 \sigma$)

- 3 probablement associées à des SNRs
- 3 non identifiées
- 2 sans contrepartie

} un nouveau type de sources ?



Un reste de supernova en coquille

RXJ 1713.7-3946

Résolution angulaire $\sim 6'$ \rightarrow morphologie résolue

Données 2004 :

33 heures sur source

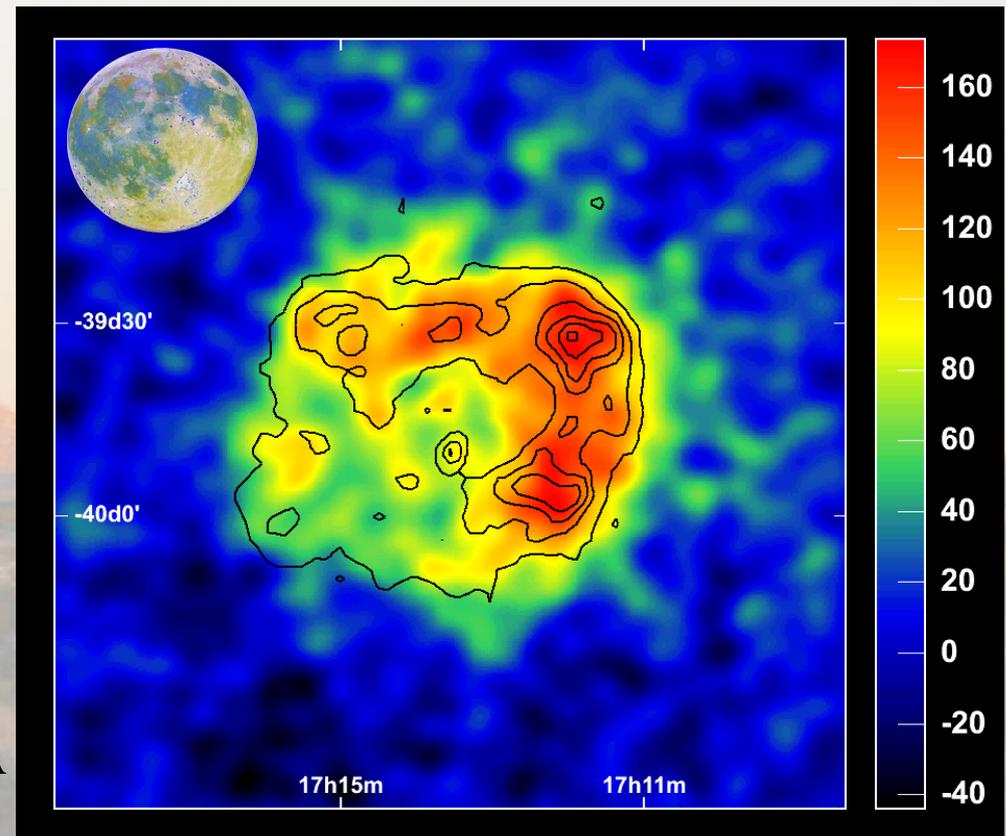
angle zénithal : 15° à 60°

• 50σ

• $\sim 16000 \gamma$

Carte d'excès
(nombre de γ)

Contours X :
ASCA



\rightarrow Accélération de particules de ~ 100 TeV
Leptonique/hadronique ?

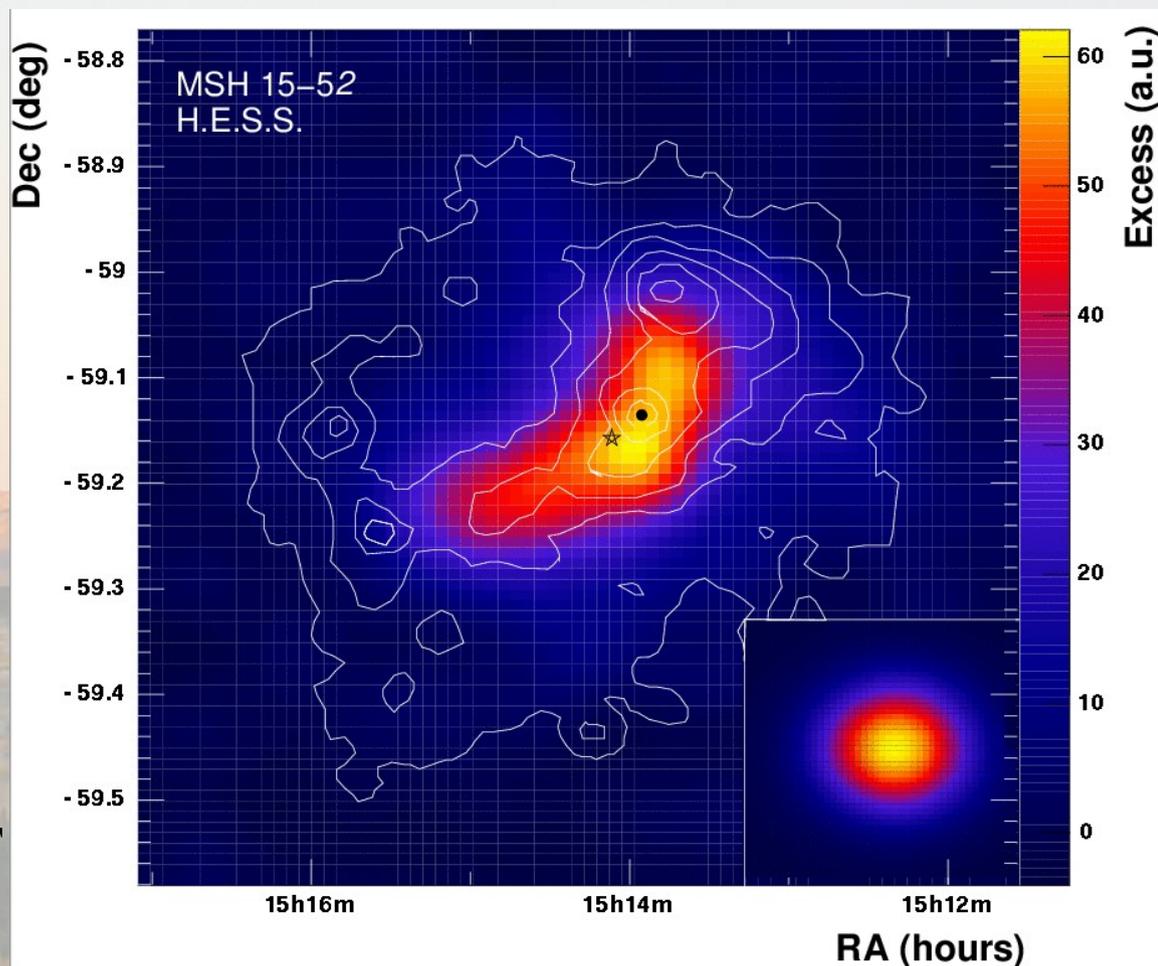
Un plérion : MSH 15-5-2

Données 2004 :
21 heures sur source
angle zénithal : $\sim 37^\circ$

- 25σ
- $\sim 3400 \gamma$

Carte d'excès

Contours X :
ROSAT

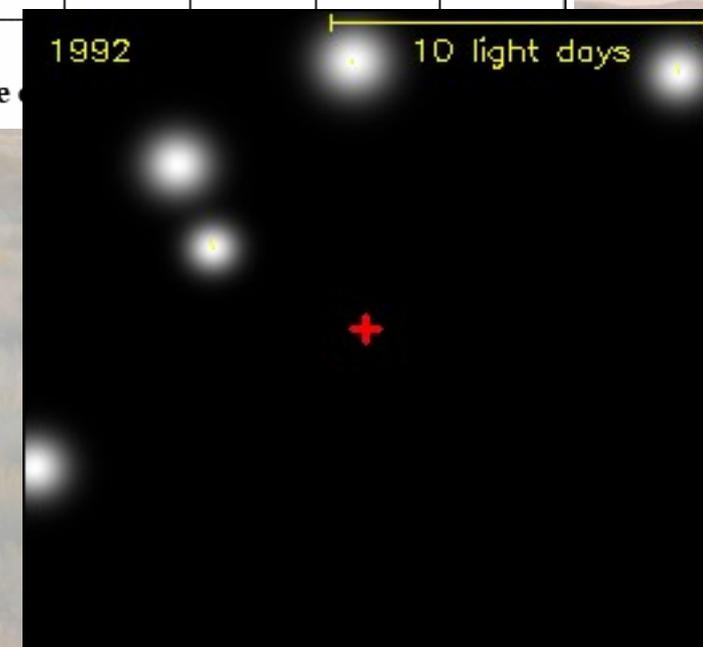
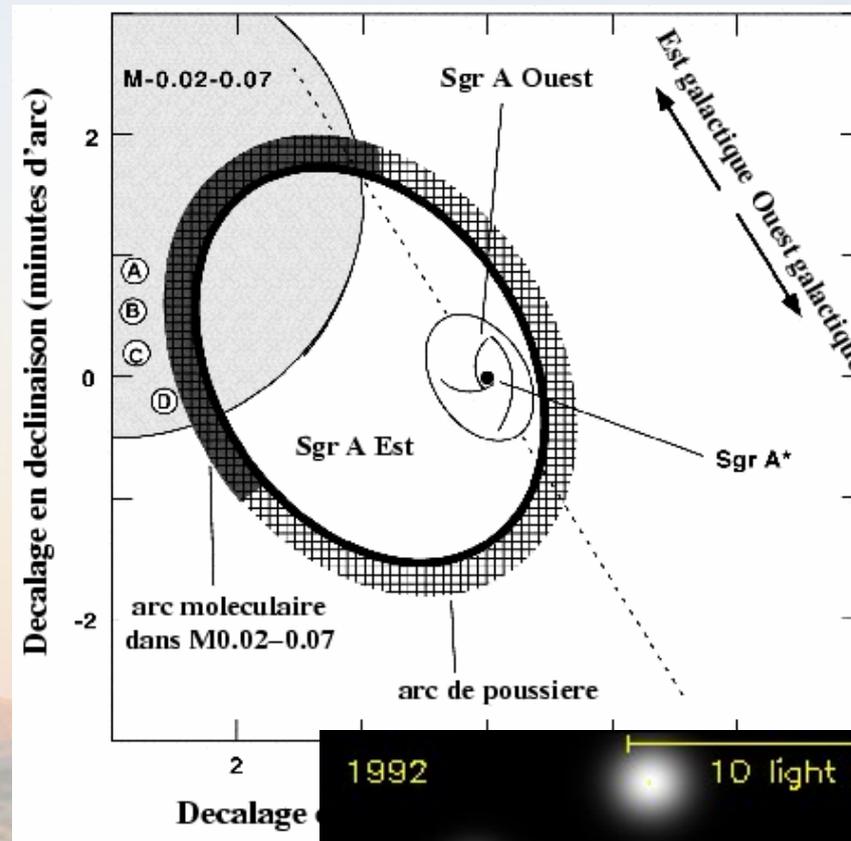
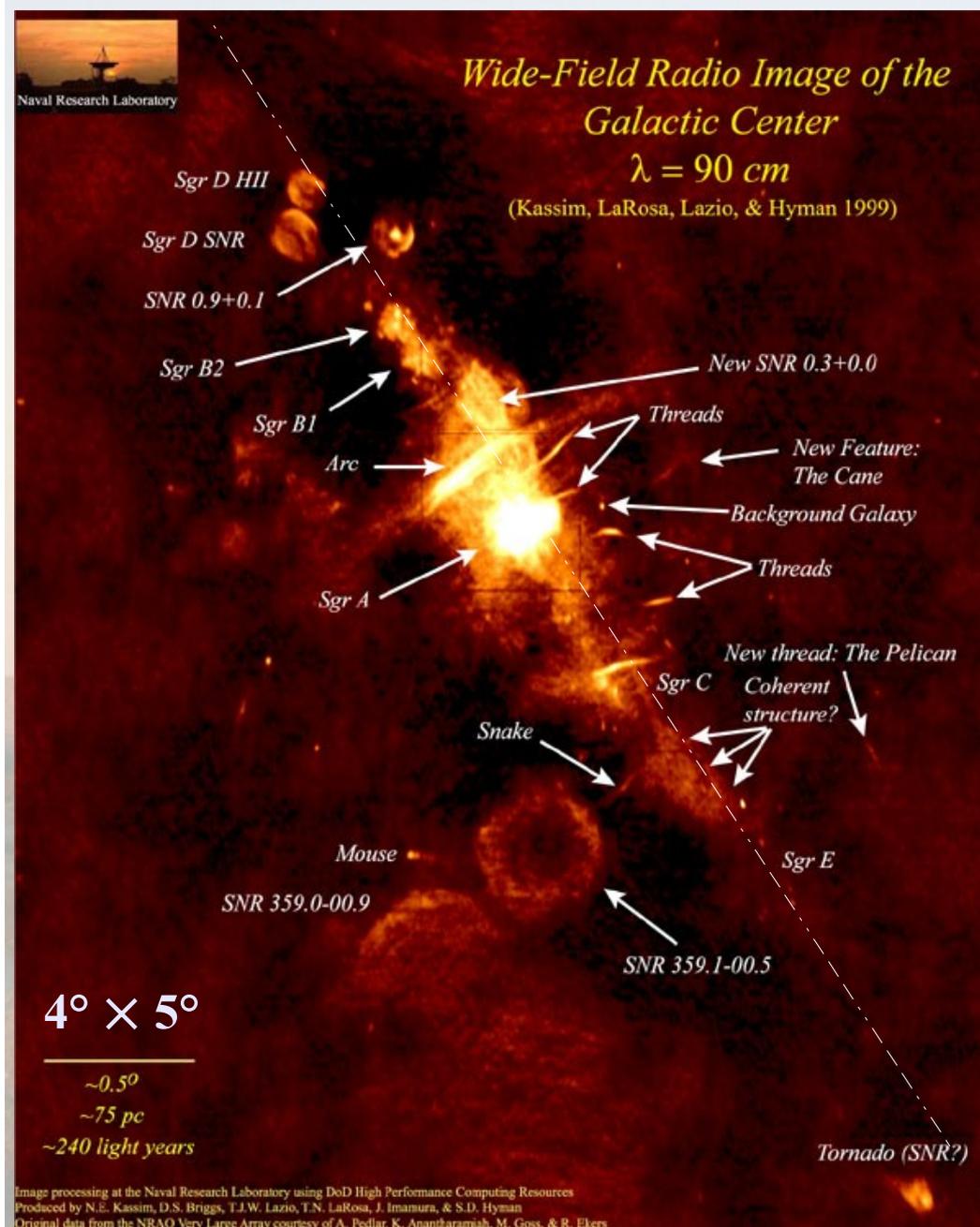


**→ Premier plérion étendu au TeV
Modèle leptonique favorisé**



**LE CENTRE GALACTIQUE
vu par HESS**

Candidats au TeV



La région centrale observée par INTEGRAL

$2^\circ \times 2^\circ$



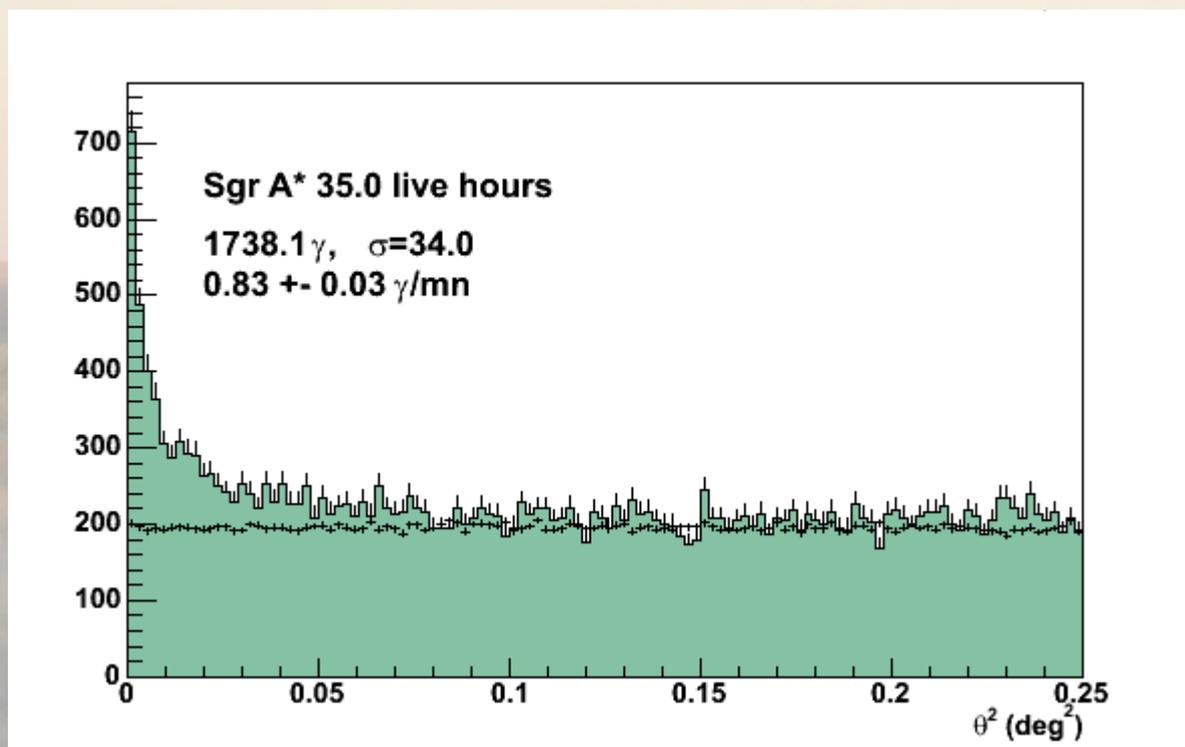
20-40 keV



40-100 keV

Le Signal γ du Centre Galactique

- 2004
 - 4 télescopes
 - 35 heures effectives



- 34 σ
- $\sim 1740 \gamma$

Carte du Centre Galactique

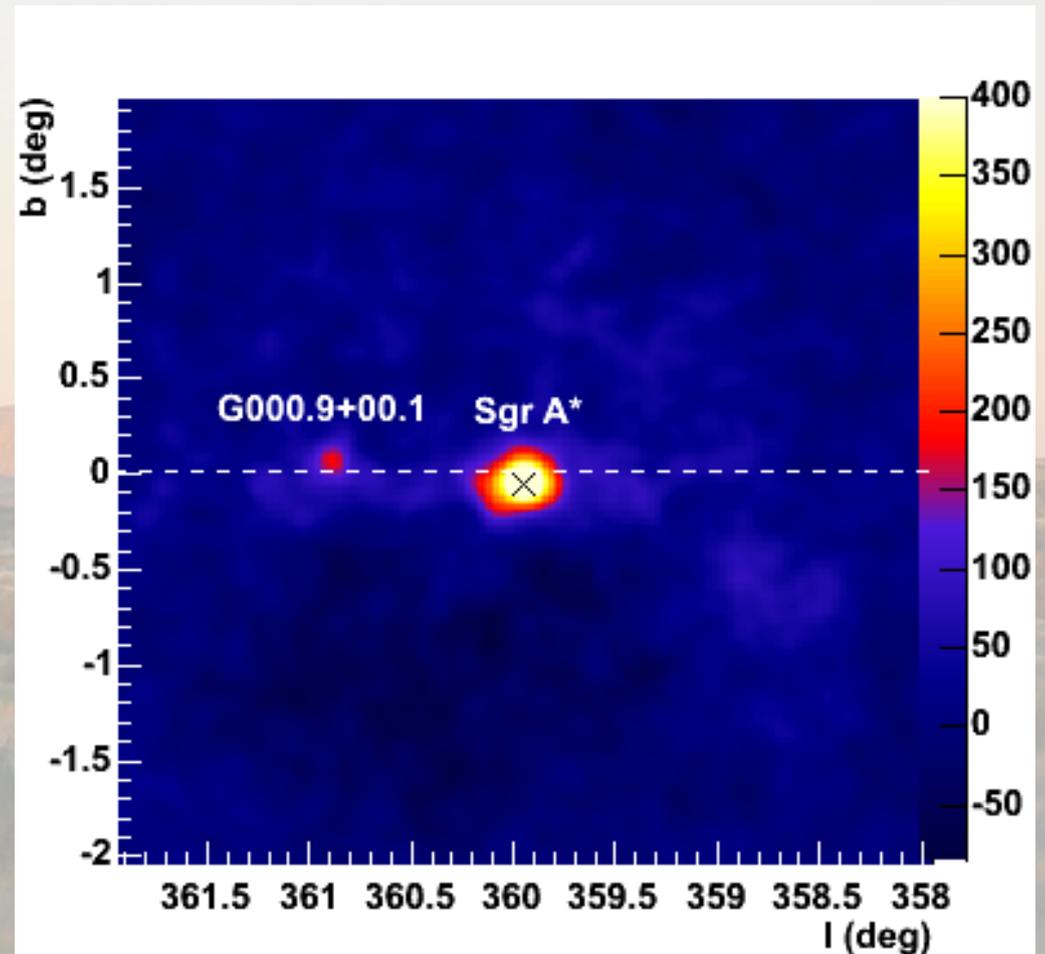
- Carte du Centre Galactique en 2004 : 2 sources

- 2004

- 4 télescopes
- 35 heures effectives

- 34σ

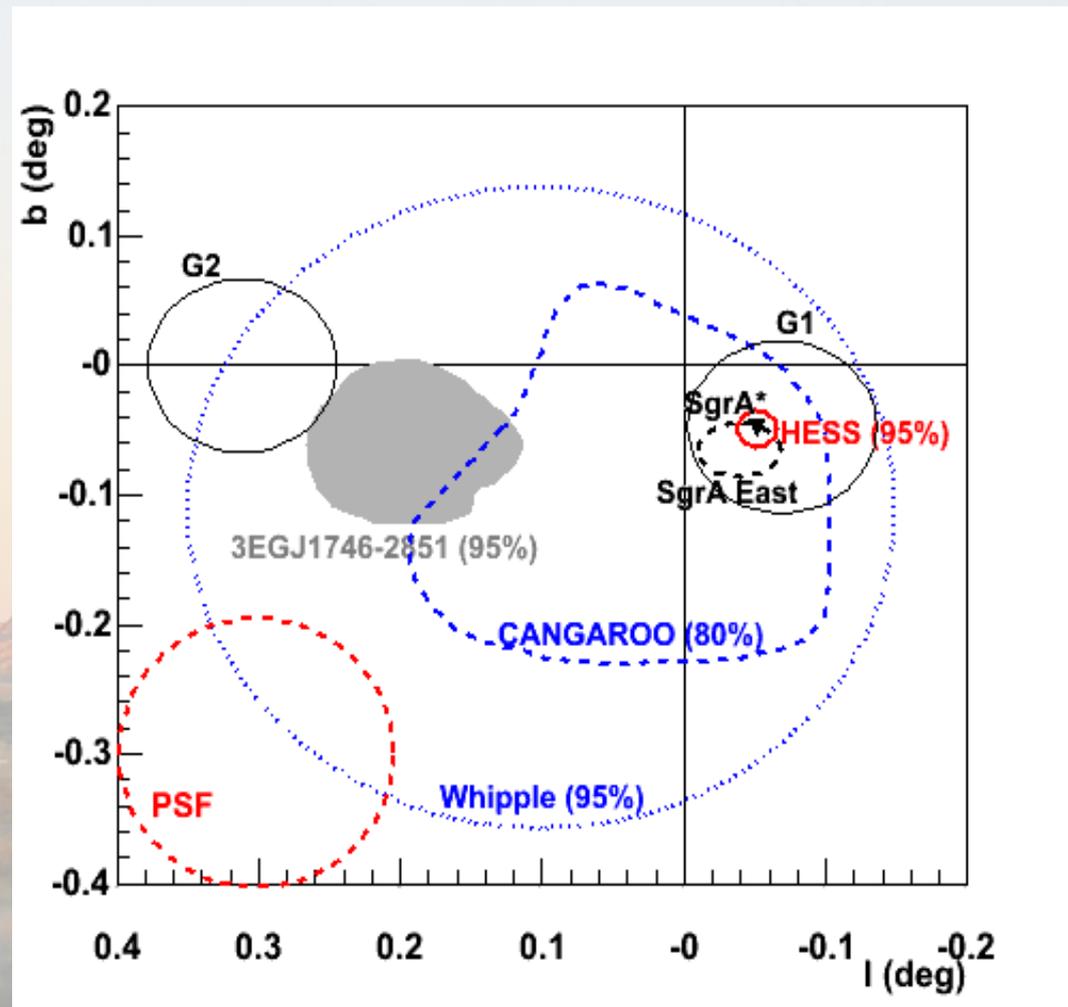
- $\sim 1740 \gamma$



Position du signal du Centre Galactique

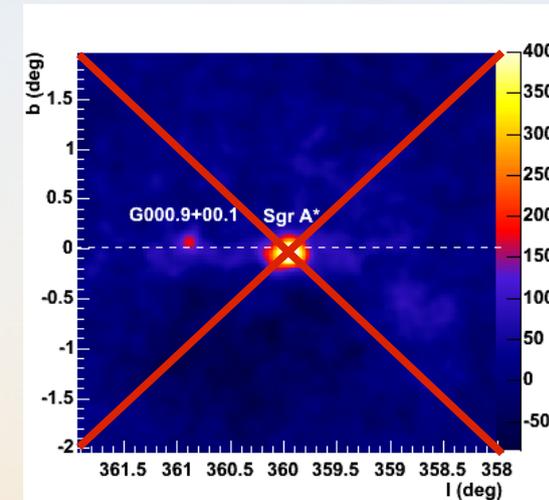
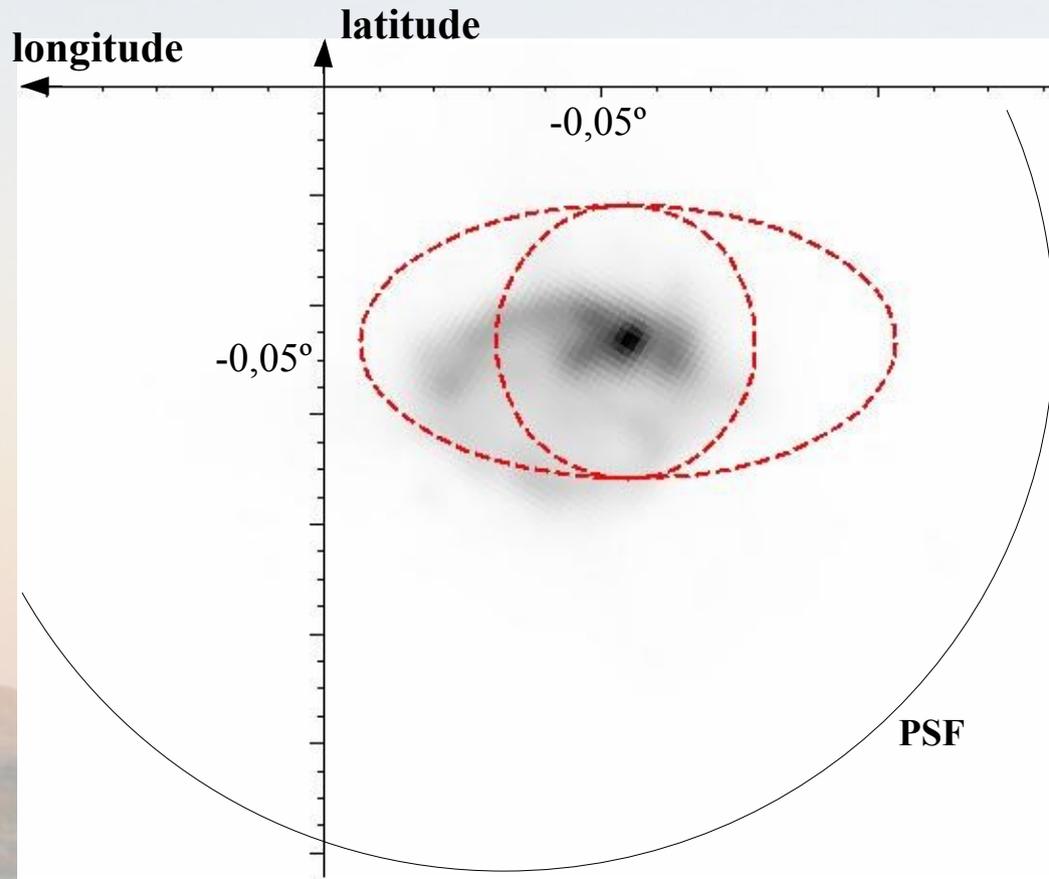
Position

(hypothèse : source ponctuelle)



Incompatible avec la source EGRET non identifiée

Extension du signal du Centre Galactique



Extension intrinsèque

(hypothèse : source centrée sur Sgr A*) :

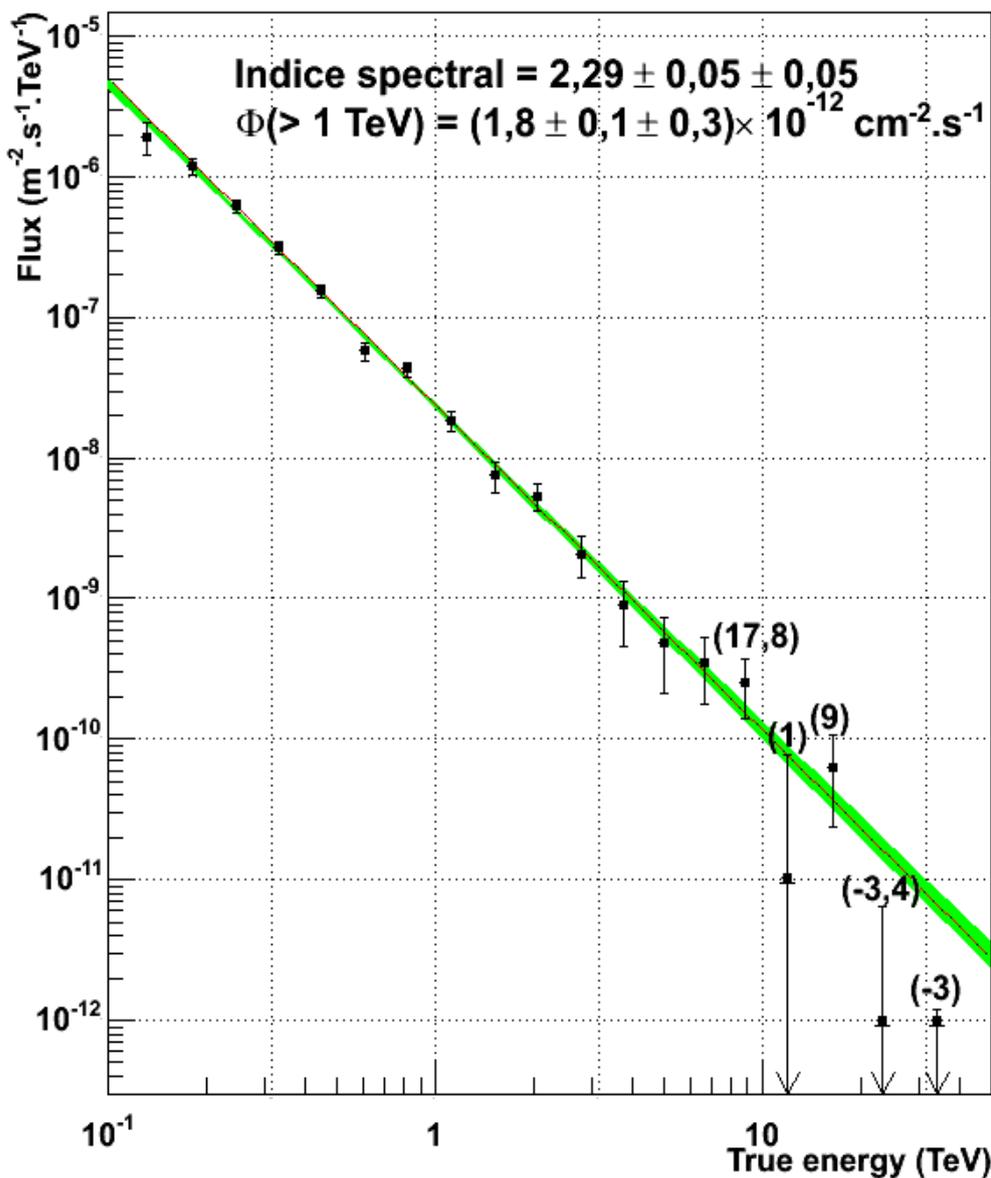
$$\sigma_{\text{latitude}} < 1,5' \text{ (95\% CL)}$$

$$\sigma_{\text{longitude}} = 2,2' + \begin{matrix} 0,7' \\ -0,8' \end{matrix} \text{ (95\% CL)}$$

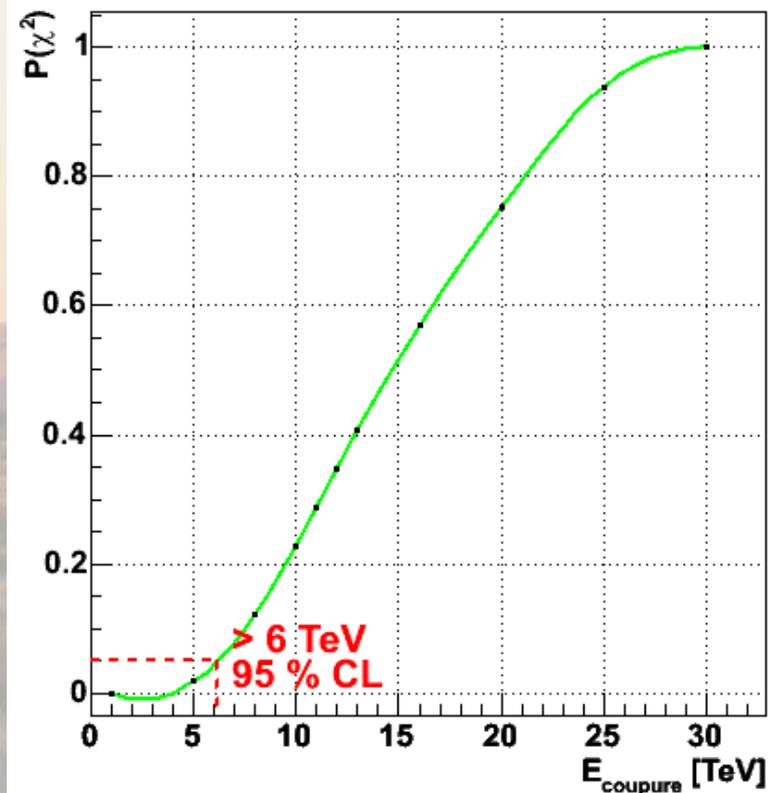
- Compatible avec le trou noir Sgr A* ($14'' \pm 30''$)
- Compatible avec le reste de supernova Sgr A East

Spectre du Centre Galactique

Centre Galactique 2004



$$\frac{dN}{dE} = \Phi_0 \times E^{-\Gamma} \times e^{-\frac{E}{E_{\text{coupure}}}}$$



$E_{\text{coupure}} > 6 \text{ TeV (95\% CL)}$

A large satellite dish antenna is positioned in a field at sunset. The sun is low on the horizon, casting a warm glow over the scene. The sky is filled with scattered clouds, some of which are illuminated by the setting sun. The dish antenna is the central focus, with its structure and reflector clearly visible. The foreground is dark, and the background shows a flat landscape with a few trees and a small building in the distance.

Interprétation du signal, recherche de matière noire

Pourquoi chercher la matière noire ?

Paramètres cosmologiques :

$$h = 0,73 \pm 0,05$$

$$\Omega_0 = 1,02 \pm 0,02$$

$$\Omega_m h^2 = 0,13 \pm 0,01$$

$$\Omega_b h^2 = 0,023 \pm 0,001$$

→ 80% de la matière serait de nature inconnue : WIMPs ?

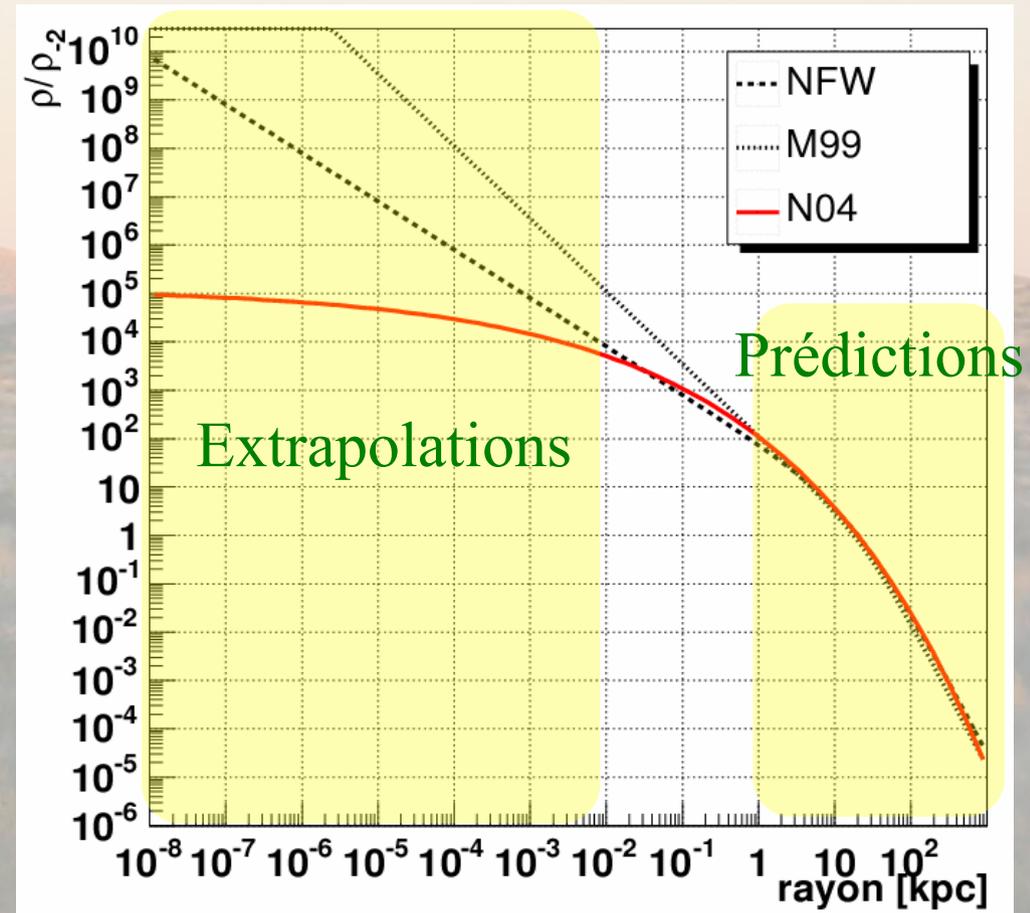
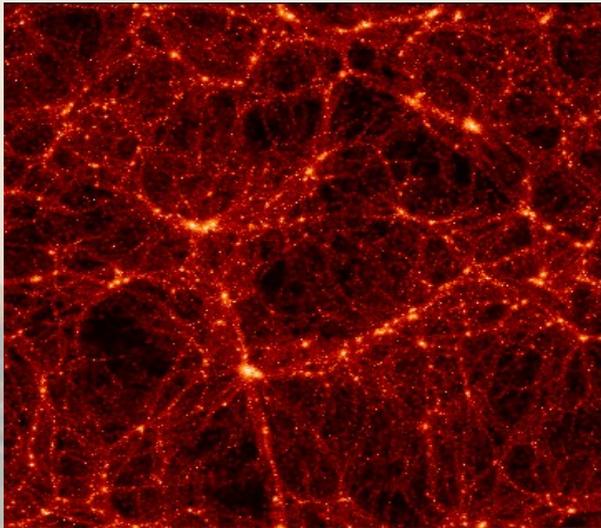
Formation de l'Univers

**Physique au-delà du
modèle standard**

Les halos de matière noire

Modèles de formation des grandes structures

Profil de densité des halos



Détection indirecte de matière noire

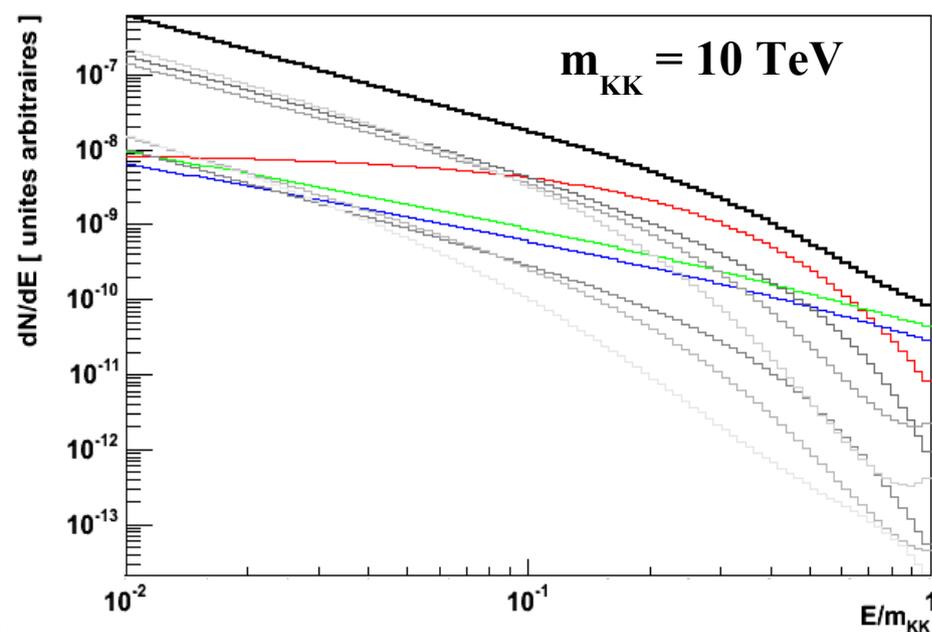
- Flux γ d'annihilation attendu :

$$\frac{d\Phi}{dE}(\Delta\Omega, E) = F_0 \times \frac{dN}{dE} \times \frac{\sigma v}{\sigma v_{ref}} \times \left(\frac{1 \text{ TeV}}{m_{DM}}\right)^2 \times \bar{J}(\Delta\Omega) \times \Delta\Omega$$

Nature des WIMPs

- **Annihilation de neutralinos**
 - raies supprimées
 - hadronisation (W^\pm et Z_0)
- **Annihilations de Kaluza-Klein**
 - leptons chargés et quarks

Halo de matière noire



Détection indirecte de matière noire

- Flux γ d'annihilation attendu :

$$\frac{d\Phi}{dE}(\Delta\Omega, E) = F_0 \times \frac{dN}{dE} \times \frac{\sigma v}{\sigma v_{ref}} \times \left(\frac{1 \text{ TeV}}{m_{DM}}\right)^2 \times \bar{J}(\Delta\Omega) \times \Delta\Omega$$

spectre en énergie

distribution angulaire

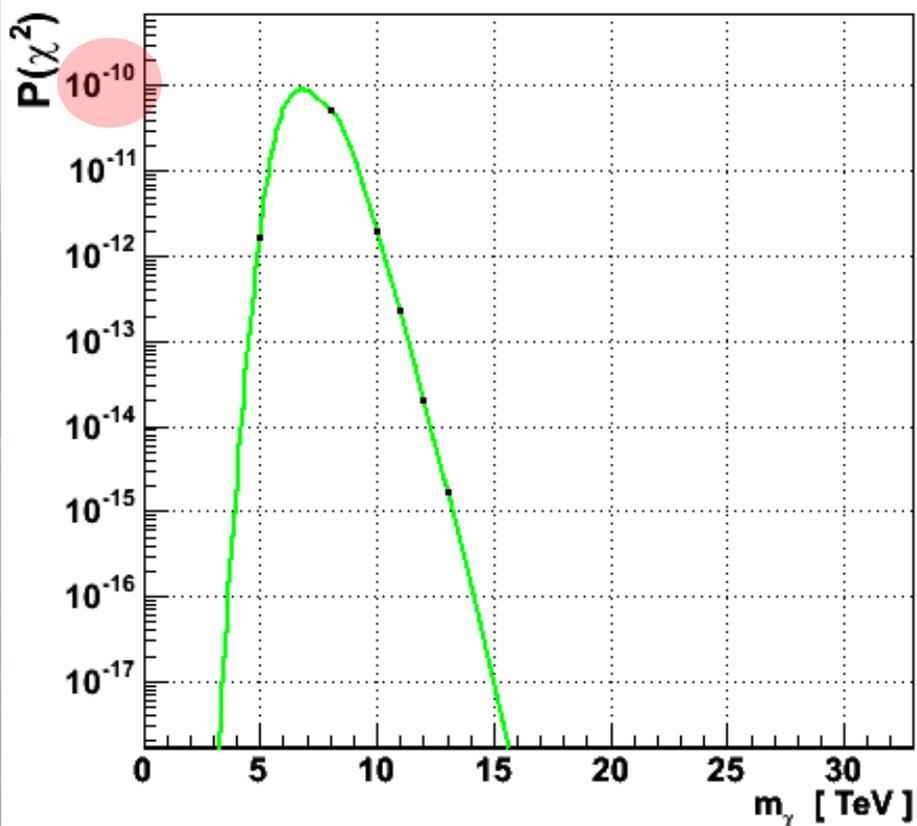
Nature des WIMPs

Forme du halo de matière noire

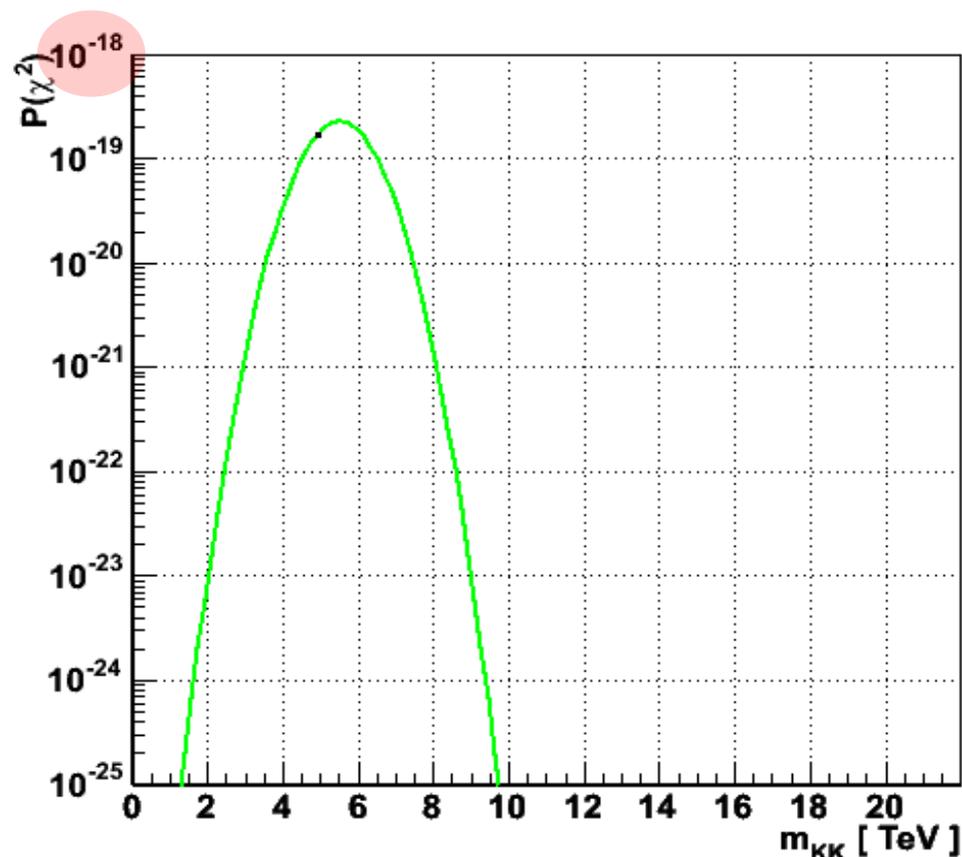
Hypothèse 1 : matière noire uniquement

- annihilations de WIMPs

Spectre MSSM incompatible avec les données ($> 6 \sigma$)



Spectre Kaluza-Klein incompatible ($> 8 \sigma$)



Hypothèse 2 : matière noire et fond astrophysique

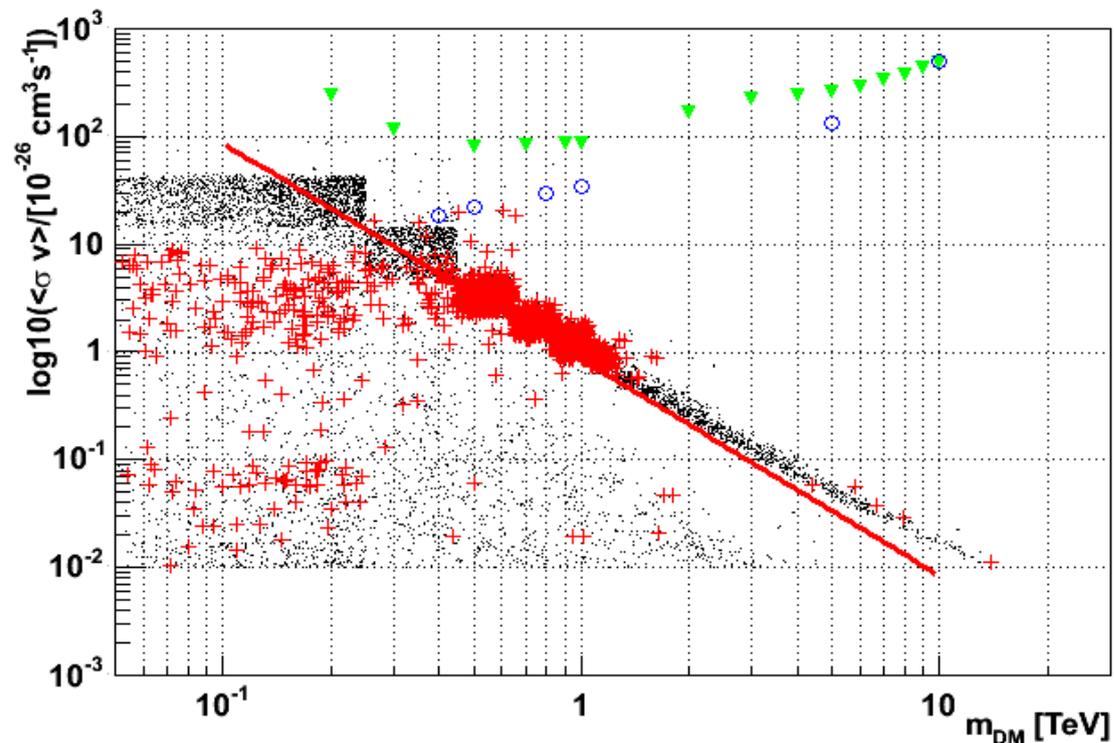
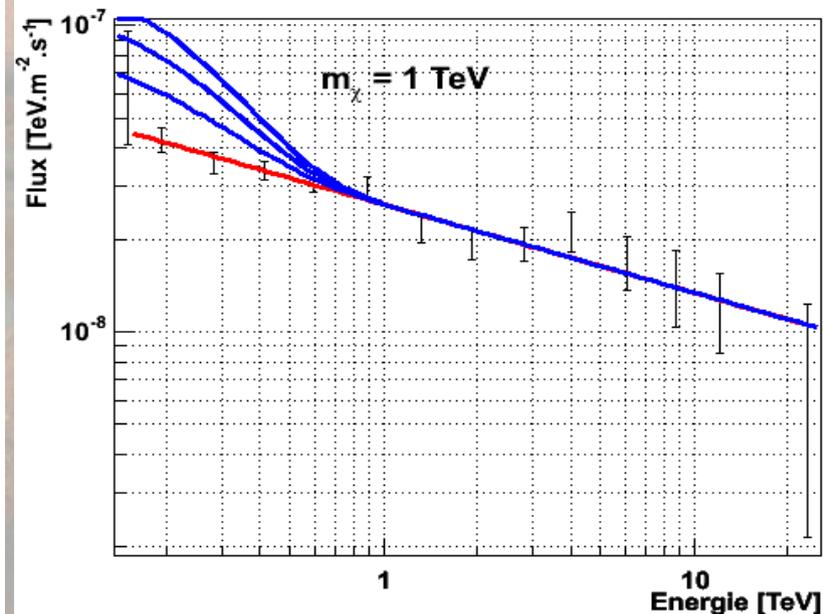
- **Spectre : 2 composantes**

- loi de puissance
- matière noire

- **Forme du halo : NFW**

incertitudes sur la densité $> 10^6$

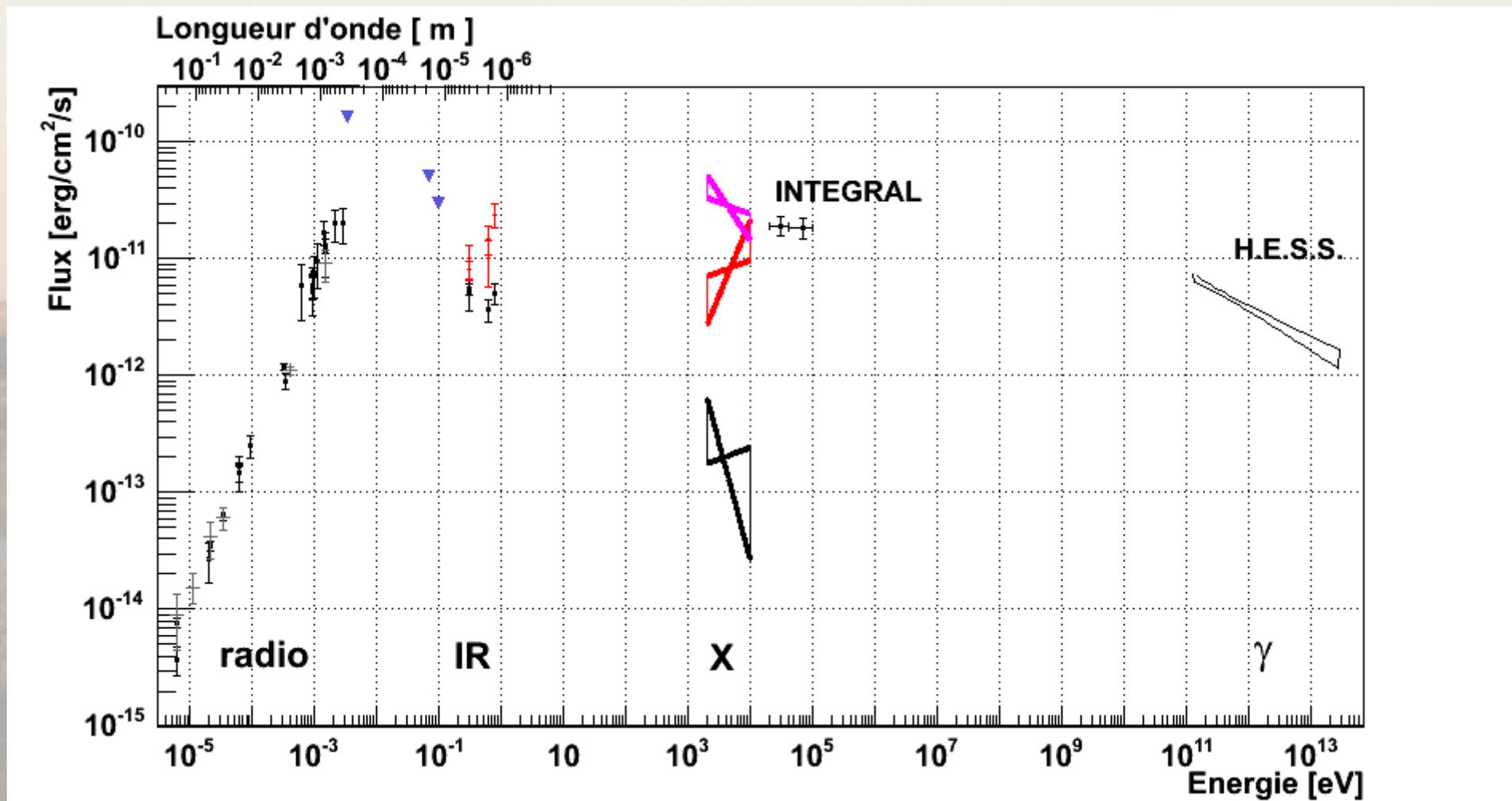
• **spectre compatible avec loi de puissance \rightarrow limite supérieure sur $\sigma.v$**



Autres interprétations possibles

Sgr A* : trou noir supermassif

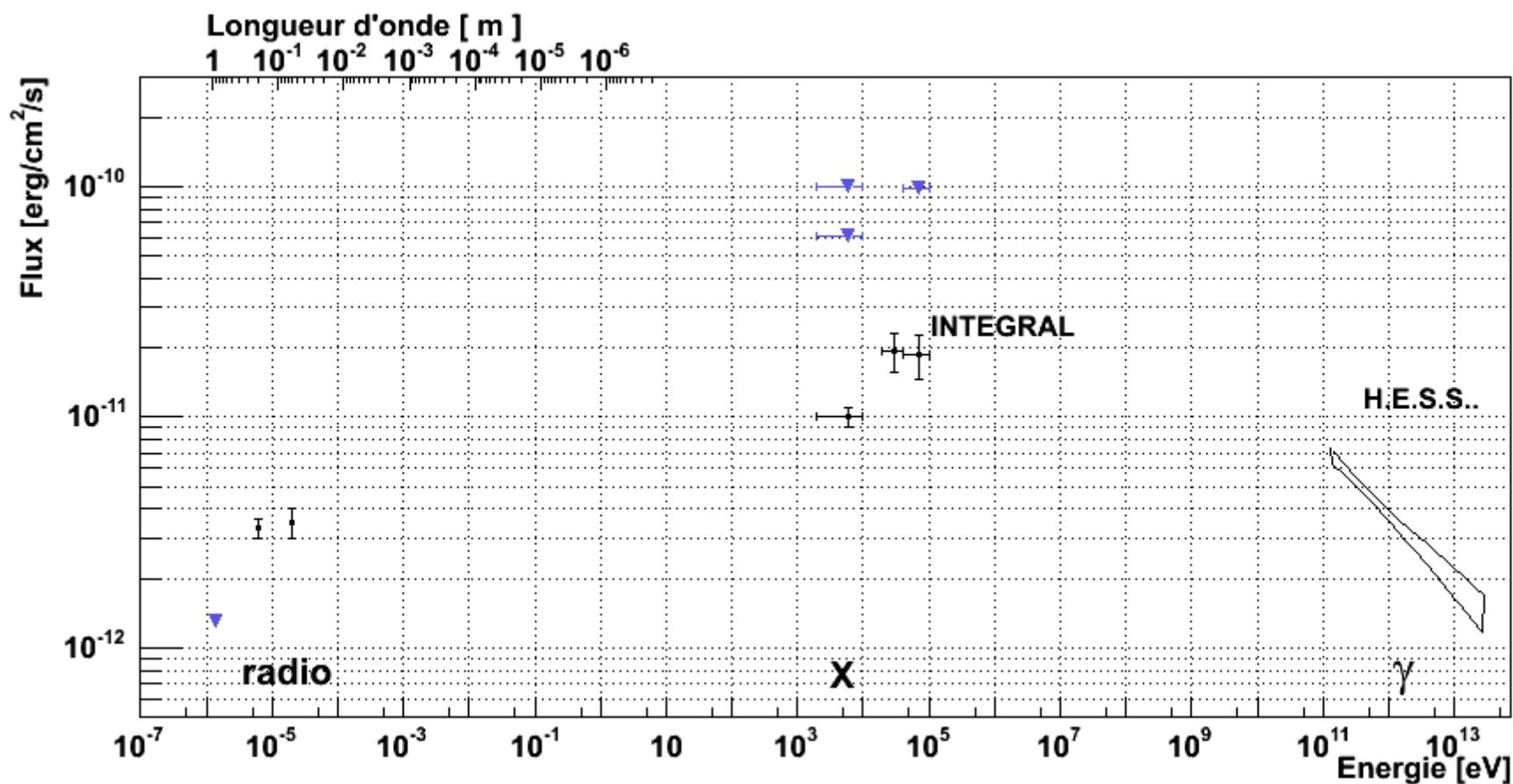
- variabilité
- spectre en énergie

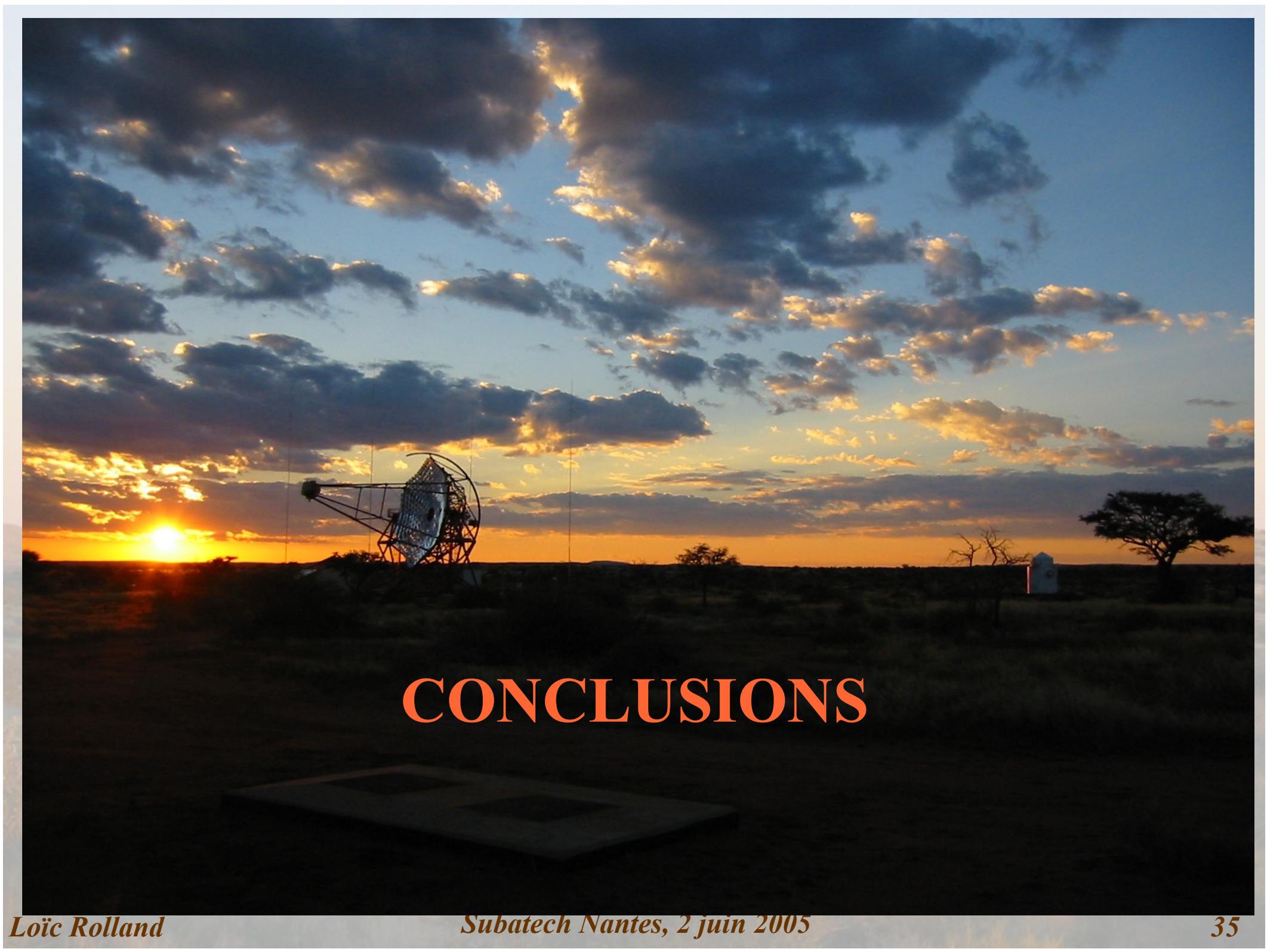


Autres interprétations possibles

Sgr A East : reste de supernova

- extension
- spectre en énergie





CONCLUSIONS

La matière noire

Centre Galactique

- présence d'un fond astrophysique
- incertitudes sur la forme du halo

→ Recherche de sources sans fond astrophysique

Nature des WIMPs

Forme du halo de
matière noire

Perspectives

Futur de l'astronomie gamma

GLAST

HESS-II

Potentiel de détection
Intercalibration

Autres messagers/Autres longueurs d'onde

Modélisations
Contraintes

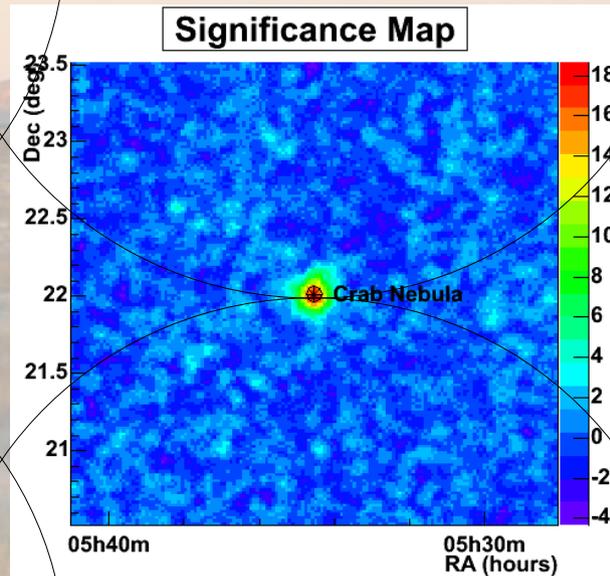
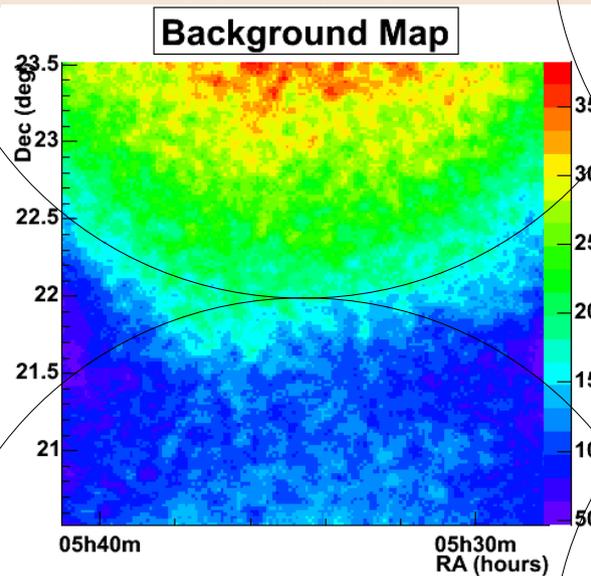
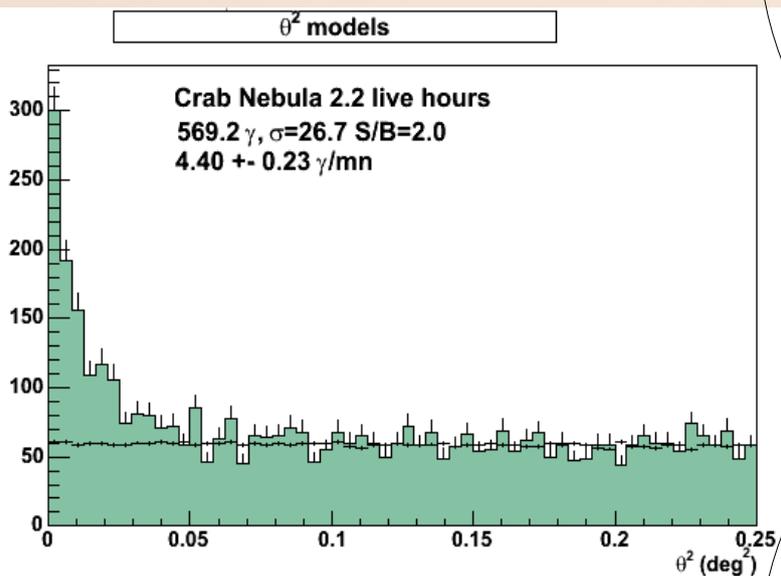
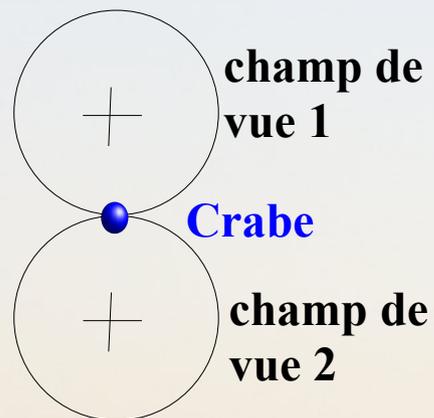
A photograph of a sunset over a dark, silhouetted horizon. The sky transitions from a deep blue at the top to a bright orange near the sun, which is a glowing orb just above the horizon line. The foreground is in deep shadow, showing the dark outlines of a landscape.

MERCII !!

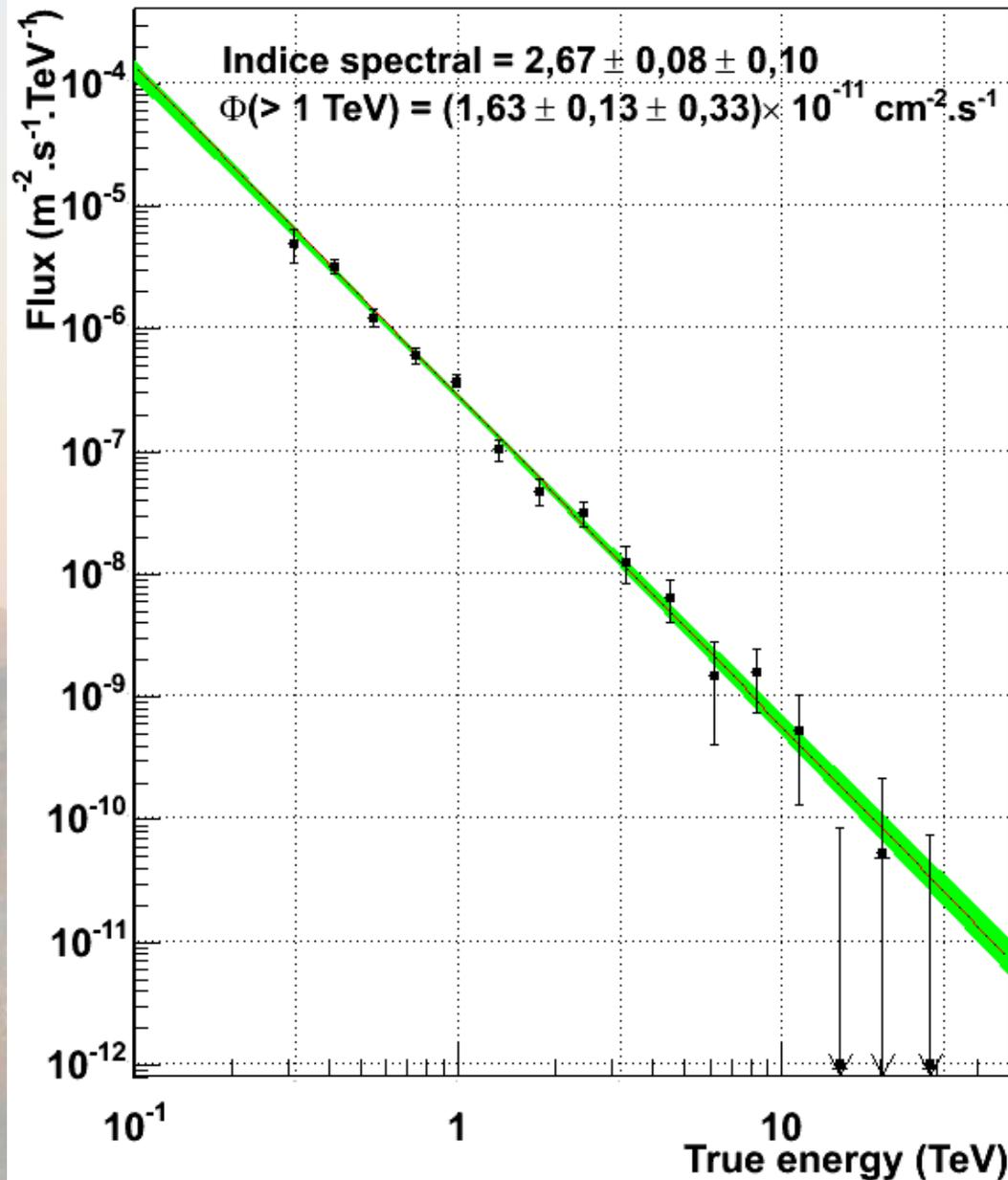
Observations du Crabe hors-axe optique

• Crabe observé en bord du champ de vue ($2,5^\circ$)

- 27σ en 2,2 heures
- 570γ
- Carte de significativité plate

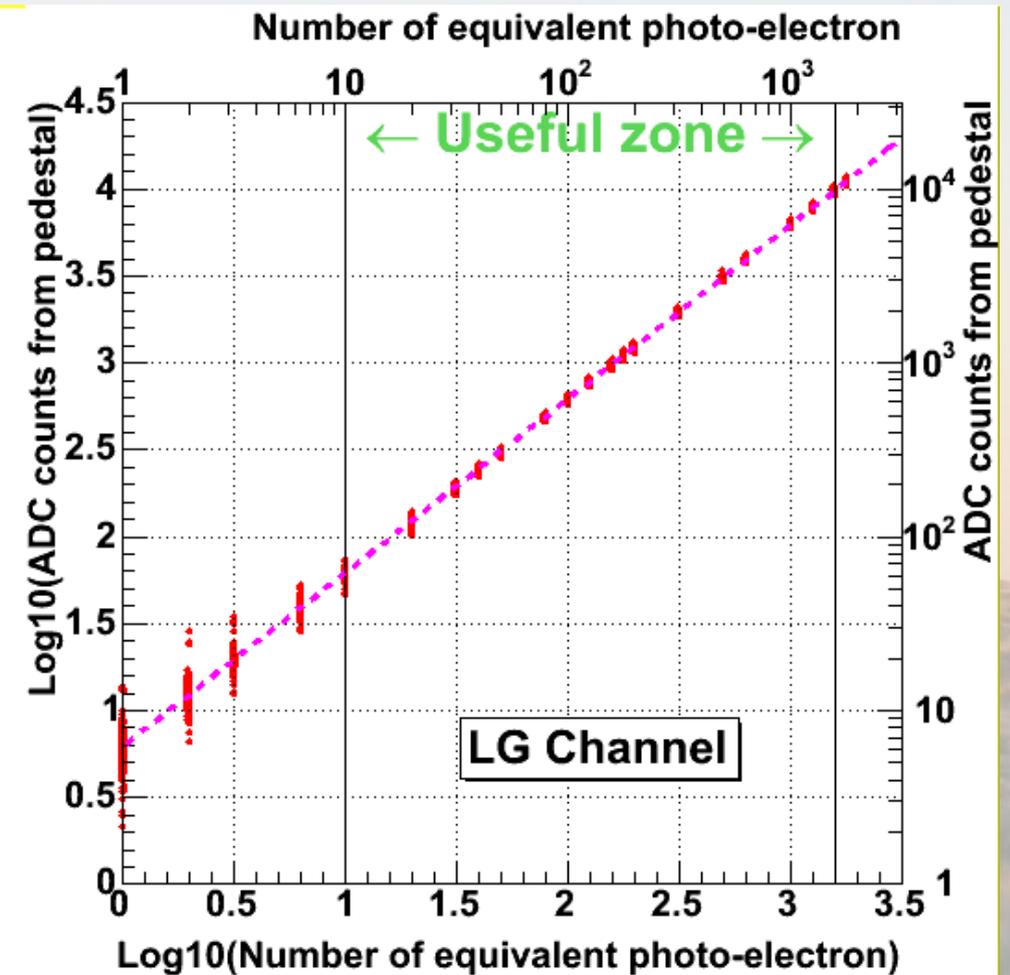
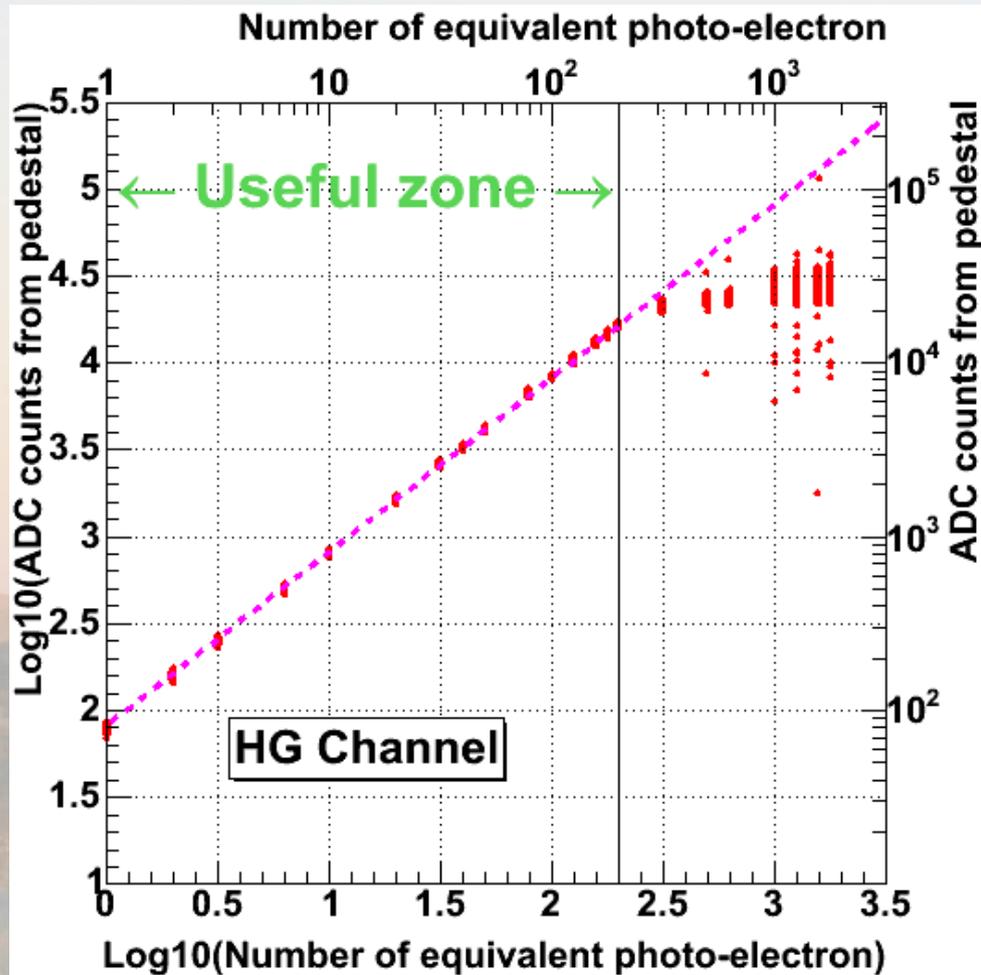


Observations du Crabe hors-axe optique



Spectre en loi de puissance

Linearite des voies d'acquisition



Les Sources de γ au TeV

- **Astrophysique des objets compacts**

- Noyaux actifs de galaxie
- Micro-quasars
- Pulsars et plérions
- Sursauts γ

- **Origine des rayons cosmiques**

- Restes de supernovae (Pevatron)
- Galaxie à formation d'étoiles

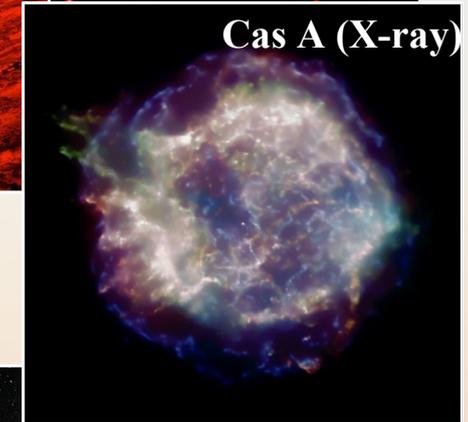
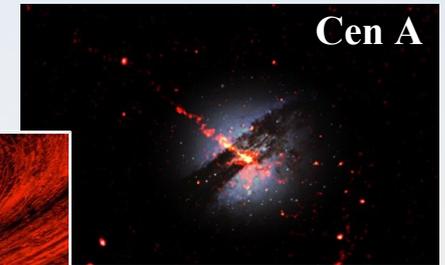
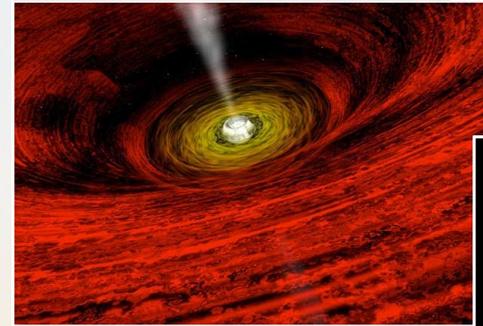
- **Nouvelles sources**

- Nuages moléculaires
- Sources EGRET non identifiées ?

- **Astroparticules**

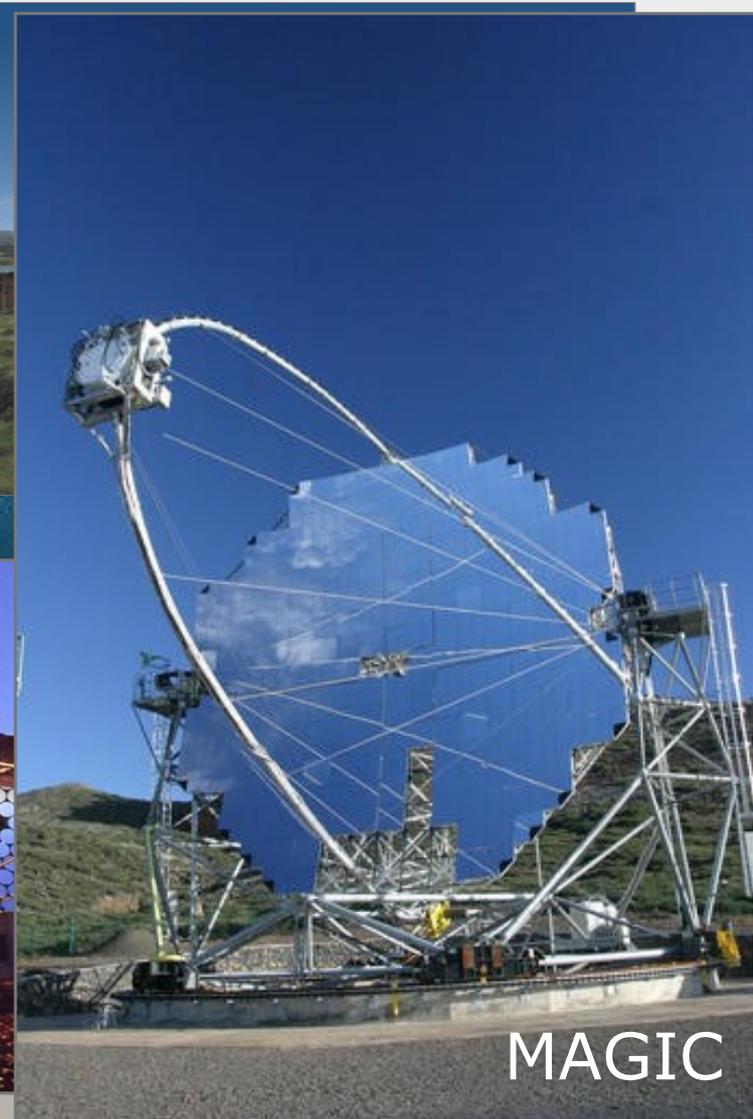
- Fond infra-rouge
- Annihilation de matière noire dans des halos

$$\gamma_{TeV} + \gamma_{IR, vis} \rightarrow e^+ e^-$$



Les Détecteurs γ de 3ème Génération

- 2ème génération : Whipple, HEGRA, CAT
- 4 nouveaux détecteurs : CANGAROO, HESS, MAGIC, VERITAS



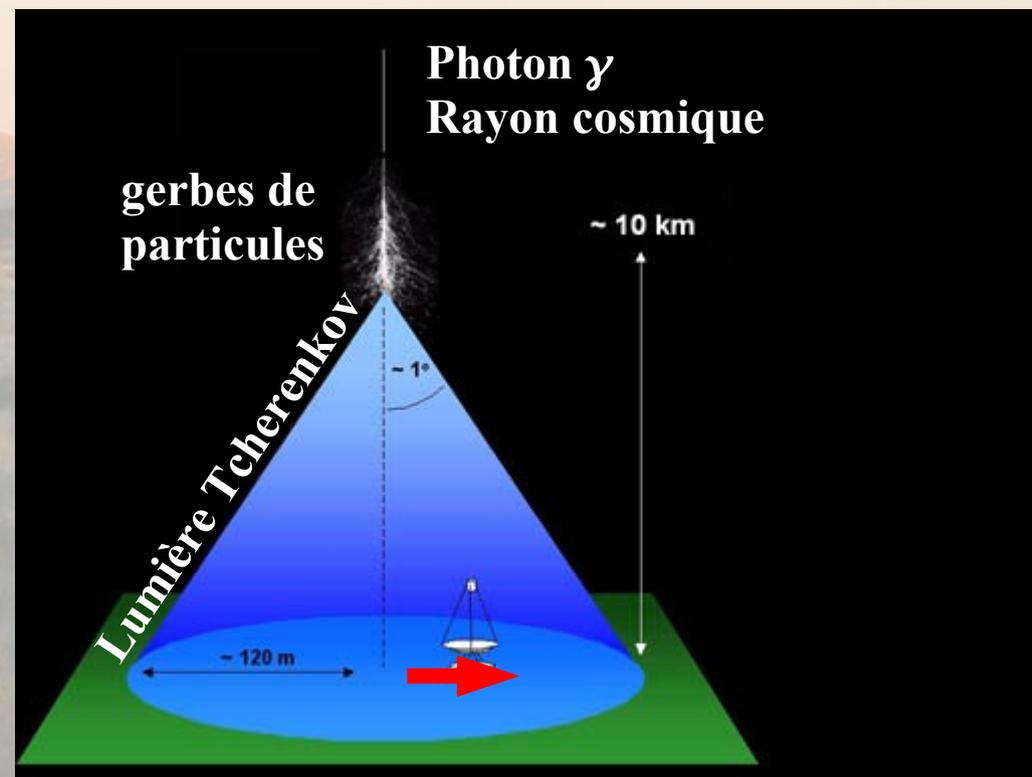
Pourquoi des Détecteurs au Sol ?

- **Dans l'espace**

- Détection directe des γ
- Petite surface de détection
 $\sim 1\text{m}^2$
- Crabe ($>1\text{ TeV}$) $1\ \gamma/\text{siècle}$

- **Au Sol**

- Détection indirecte des γ
- Grande surface de détection
 $\sim 10^5\text{ m}^2$
- Seuil élevé $\sim 100\text{ GeV}$



Les Sources au TeV Avant HESS

• 3 plérions

- Crabe (Whipple, HEGRA, CAT, CANGAROO)
- PSR B1706 (CANGAROO)
- Vela (CANGAROO)

• 3 SNR

- SN1006 (CANGAROO)
- RXJ1713 (CANGAROO)
- Cas A ??

• 7 AGNs

- Mkn 421, Mkn 501 (Whipple, HEGRA, CAT)
- PKS 2155 (Durham)
- M87 (HEGRA, limite sup de Whipple)
- H1426+428 (Whipple, HEGRA, CAT)
- 1ES 1959+650 (Whipple, HEGRA)
- 1ES 2344+514 (Whipple)

• 1 galaxie à formation d'étoiles

- NGC253 (CANGAROO)

• 1 source non identifiée

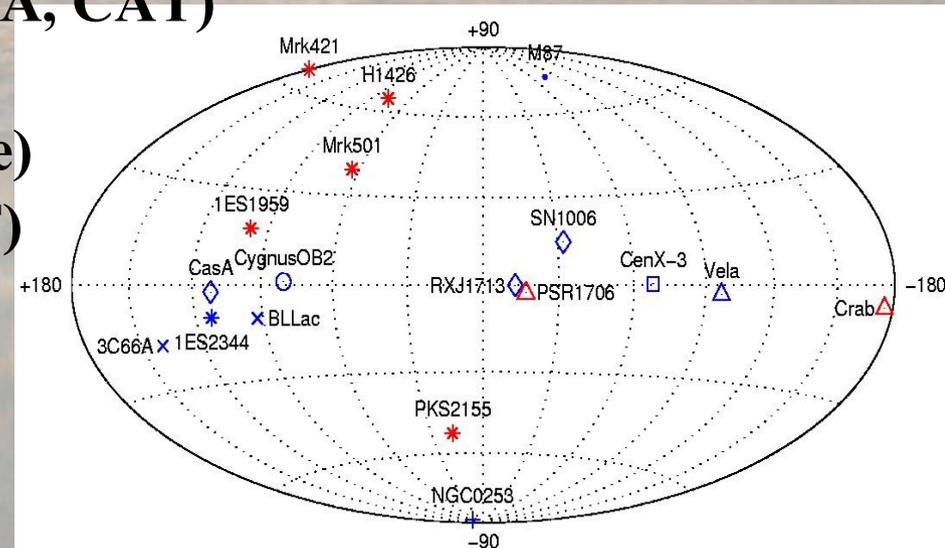
- TEV ????? (HEGRA)

• 1 binaire X

- Cen X-3 (Durham)

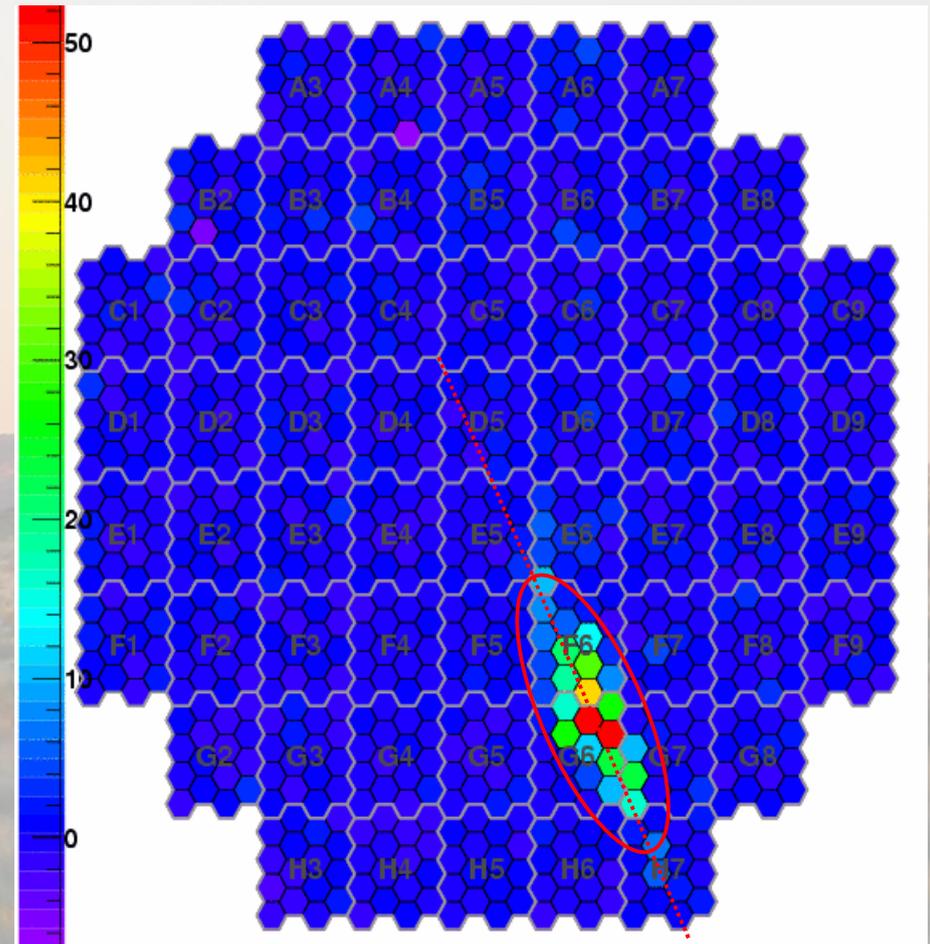
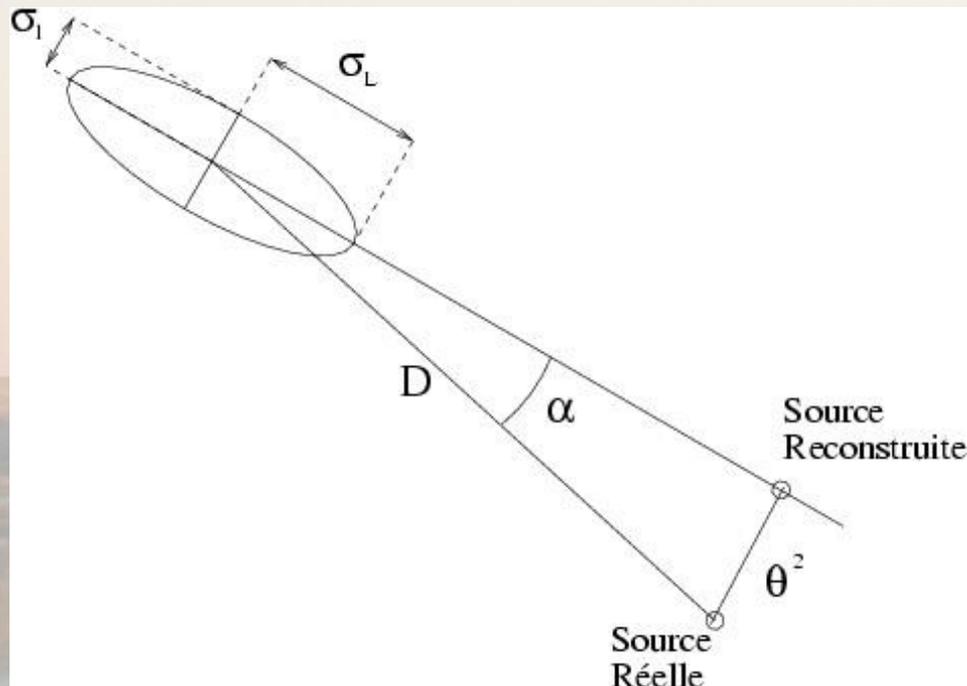
• Centre galactique

- (CANGAROO, Whipple)

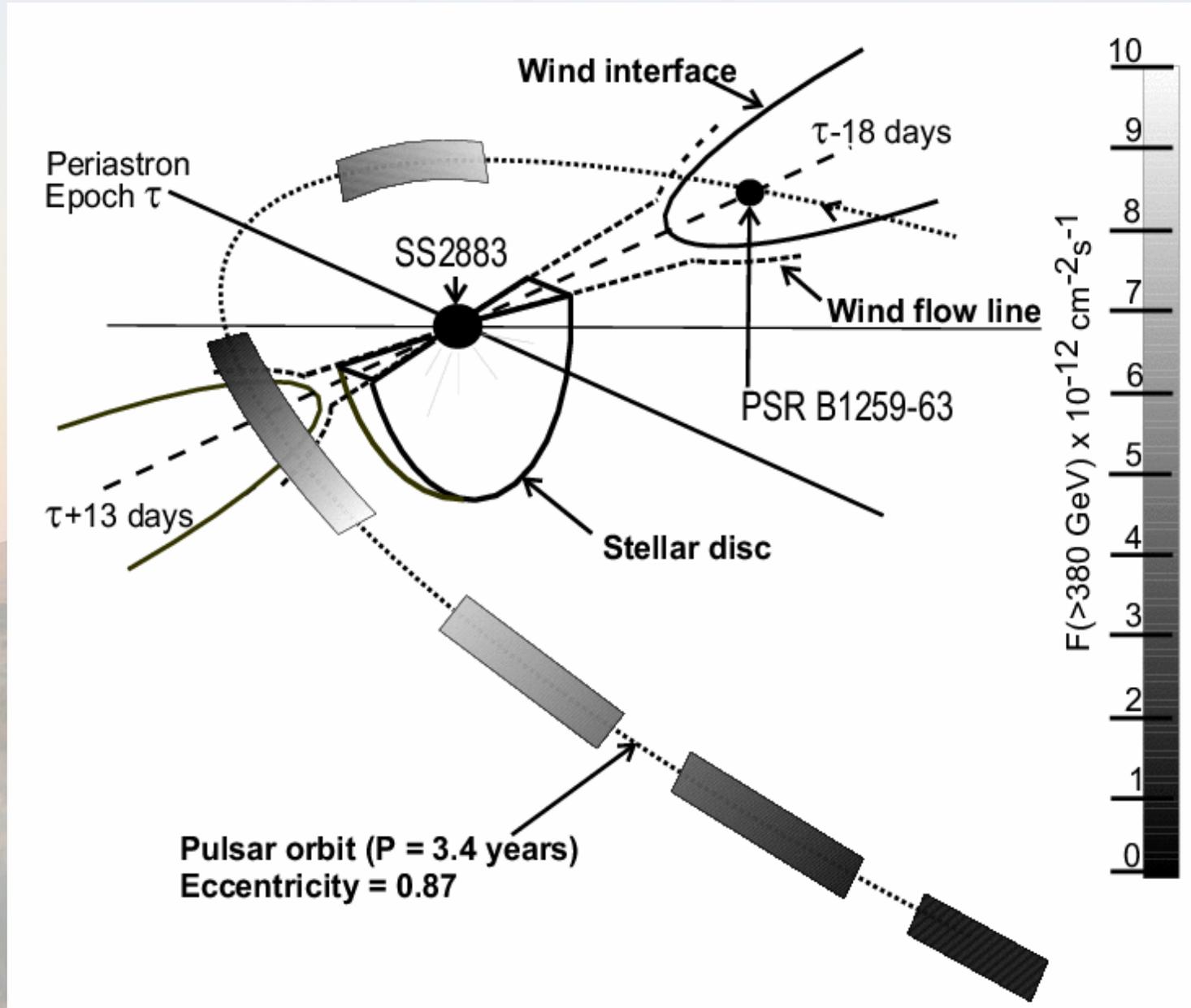


Analyse de Hillas

- Analyse développée pour Whipple par A.M. Hillas
 - Image ajustée par une ellipse



Source Galactique Variable : PSR B1259-63



PSR B 1259-63 : Signal

- Observations autour du périastre en 2004

- février-mars : ~ 7 h

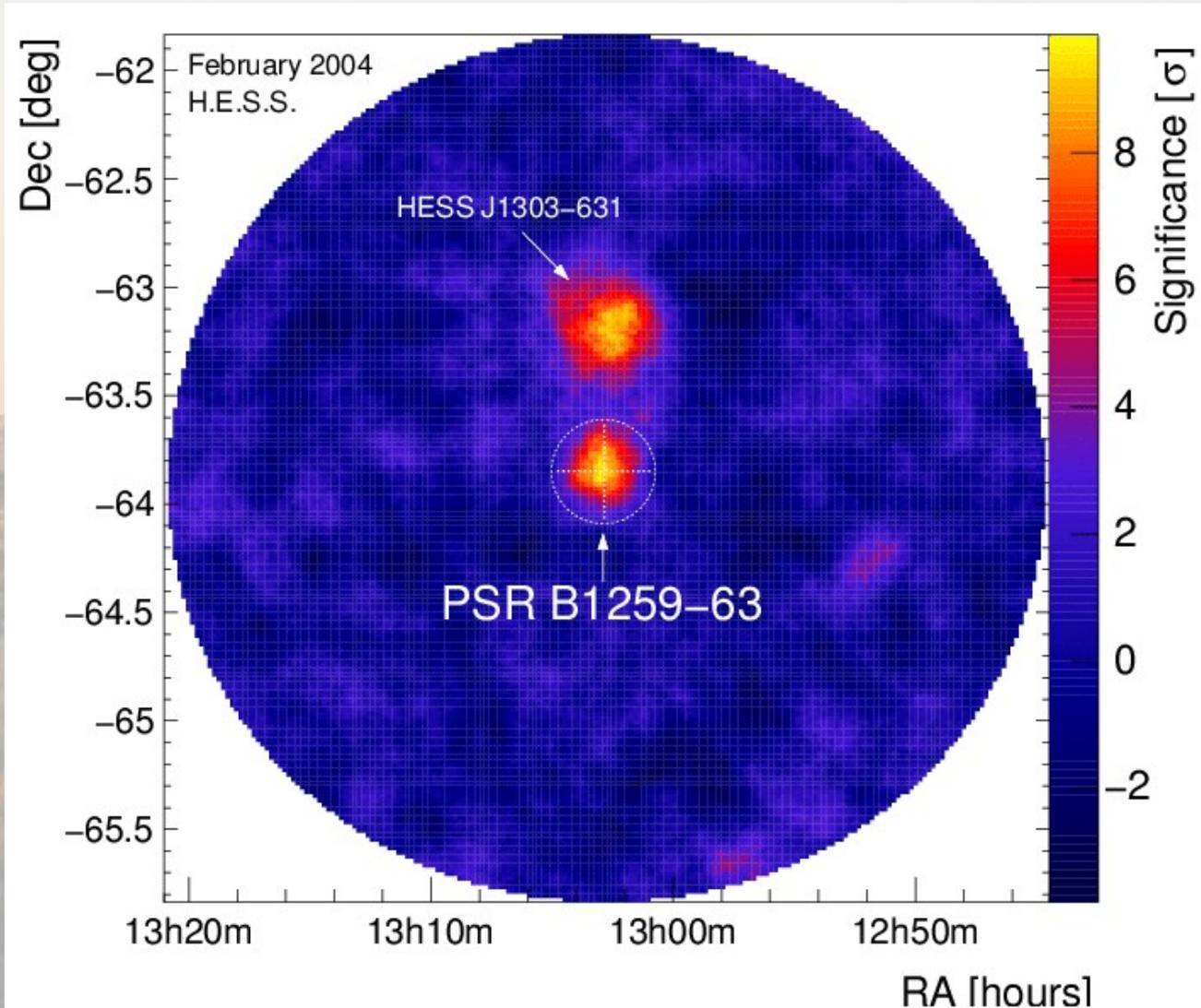
- avril-mai : ~ 40 h

-

- 13 σ , Source Ponctuelle

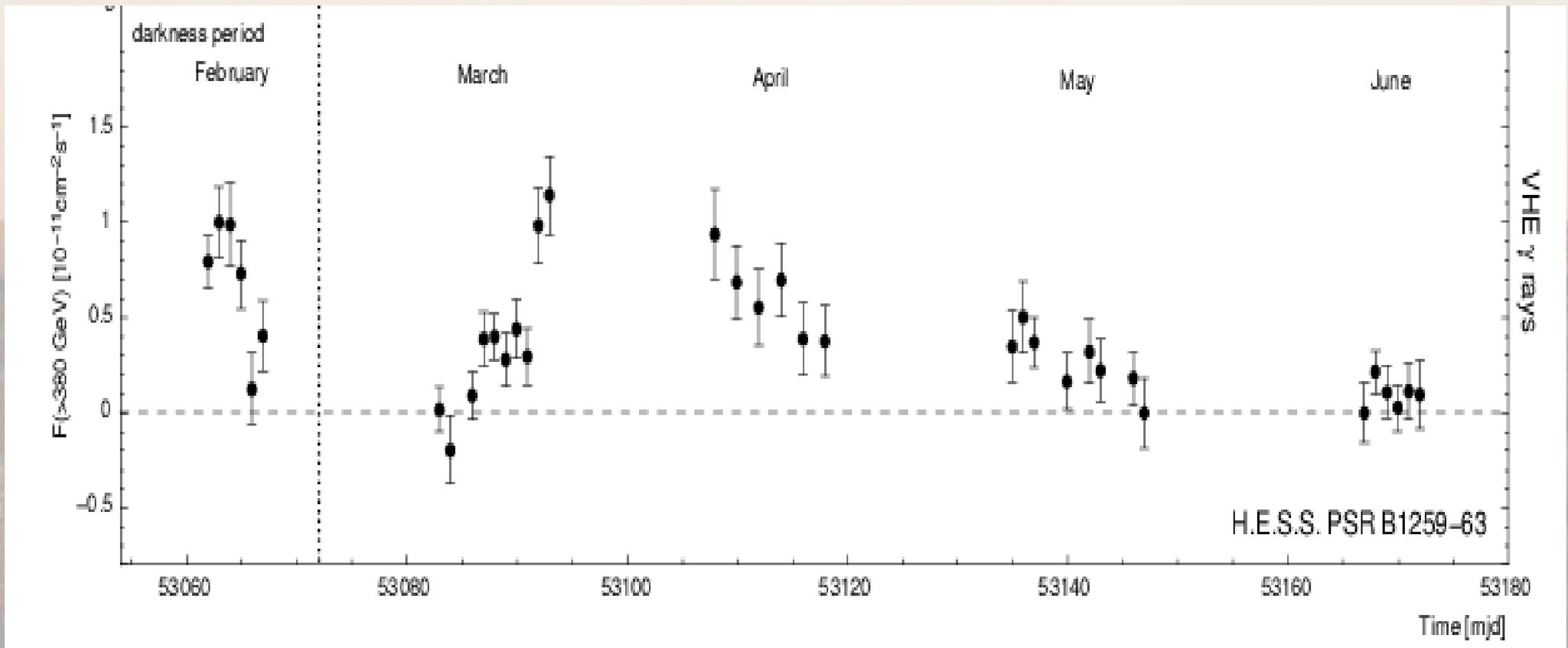
- ~5% flux du Crabe

- spectre mou



PSR B1259-63 : Courbe de Lumière

- 1ère Source au TeV Variable dans notre Galaxie
 - Comparaison avec les courbes de lumière en X
 - Comparaison avec les modèles théoriques en cours

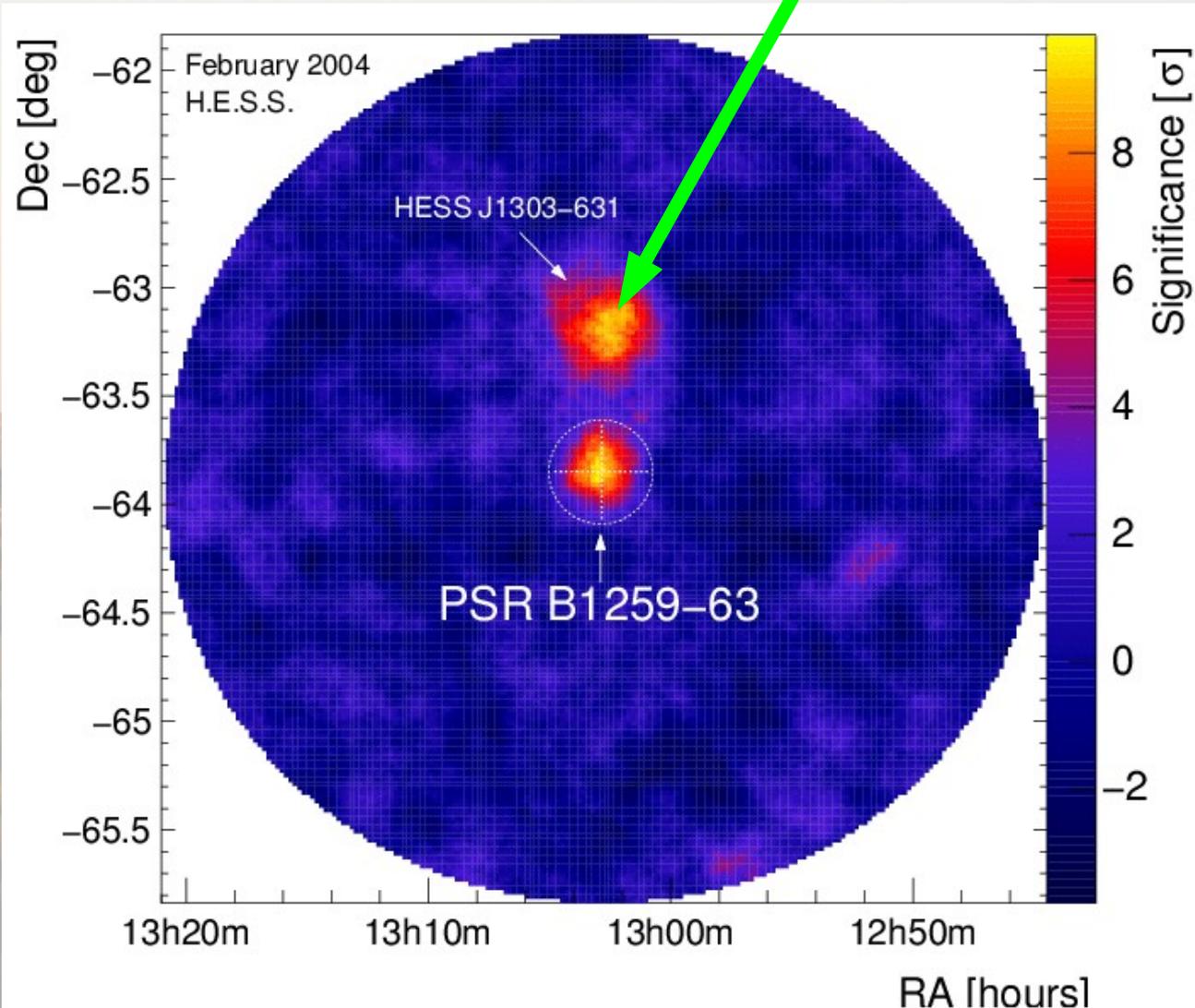


Une Source Non Identifiée : HESS J1303-631

- 2ème Source Non Identifiée au TeV

- flux stable 10% du Crabe
- spectre dur
- source étendue $\sim 0,16^\circ$

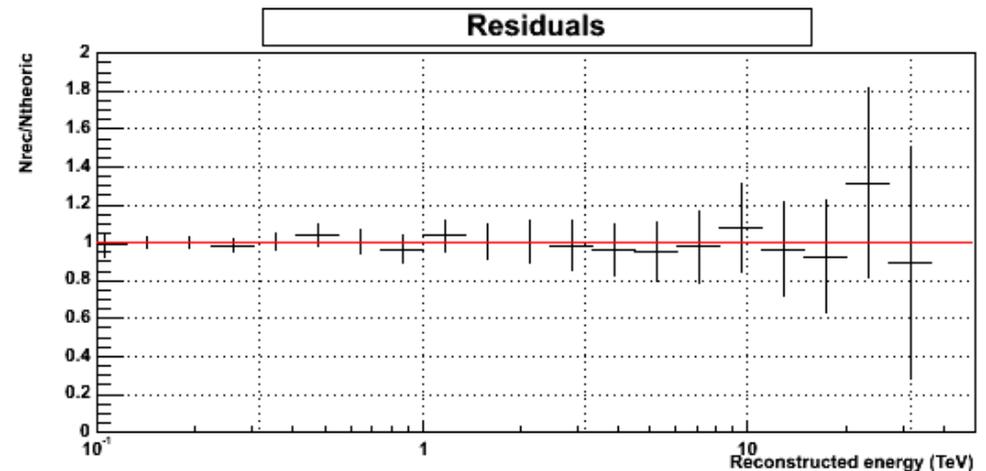
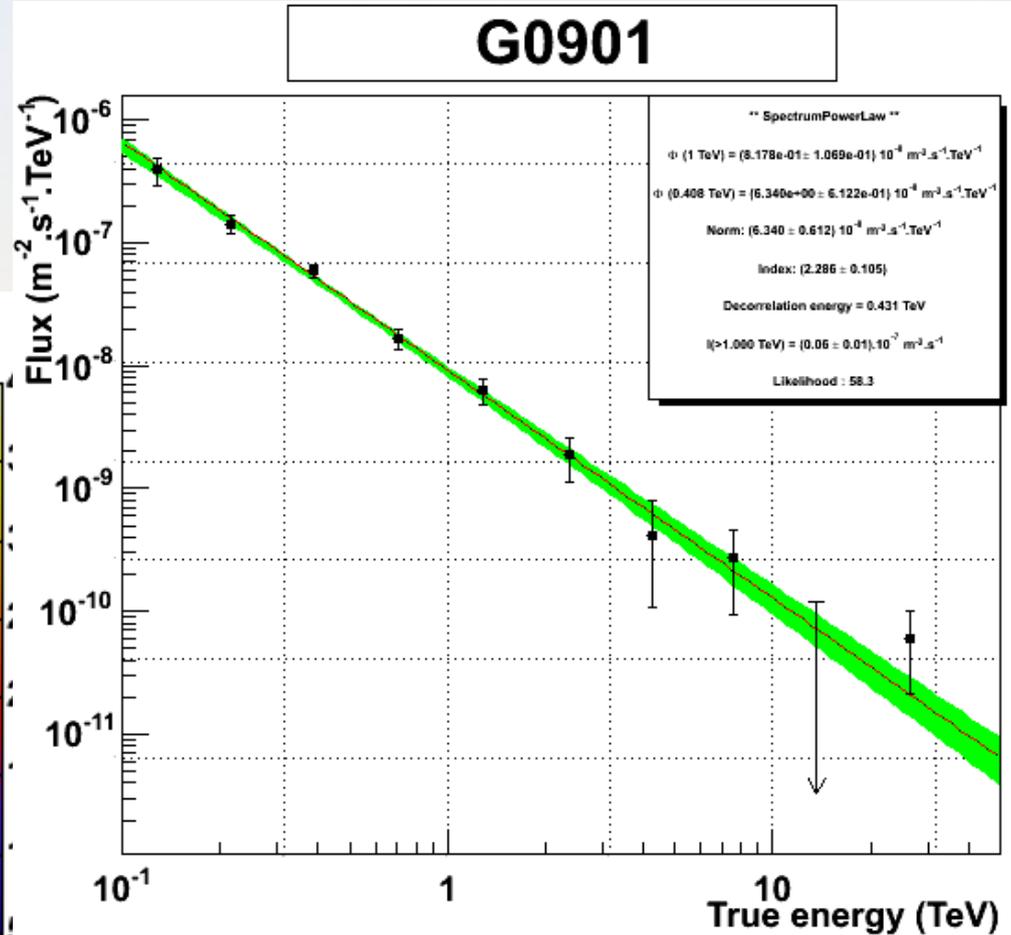
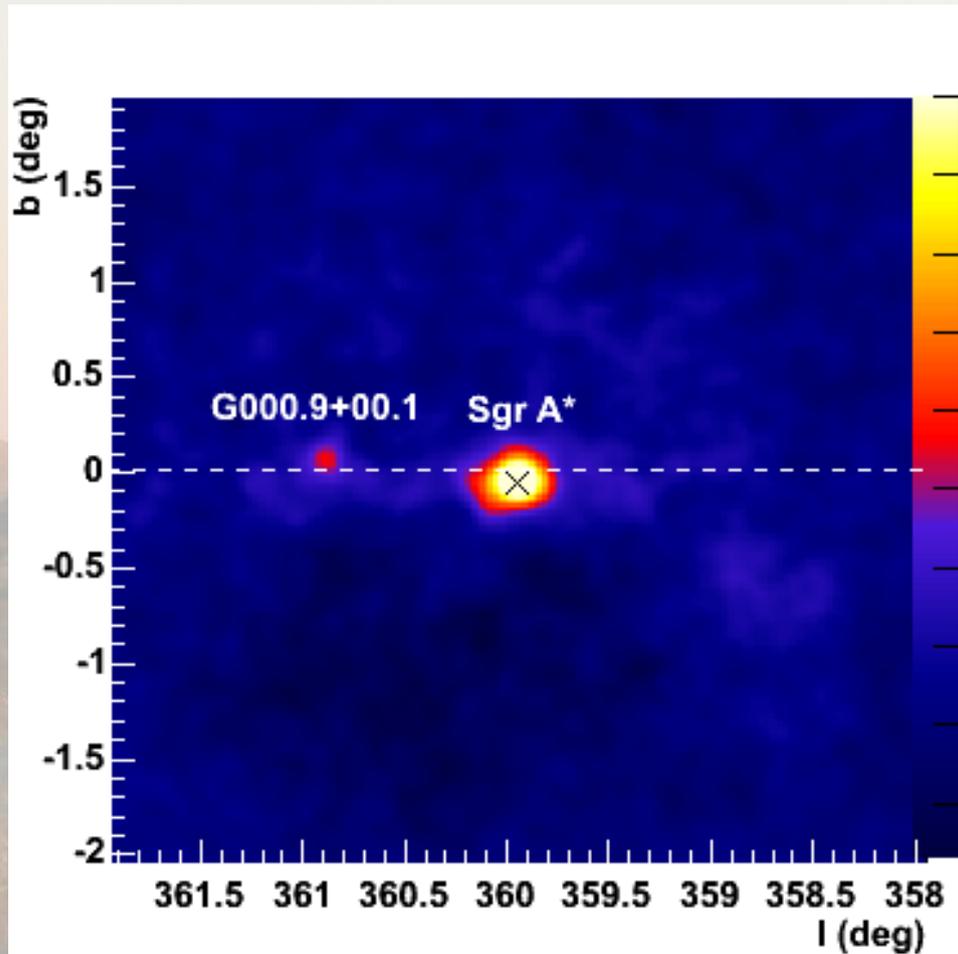
HESS J1303-631



2 Sources γ
dans le Môme
Champ de Vue !!!

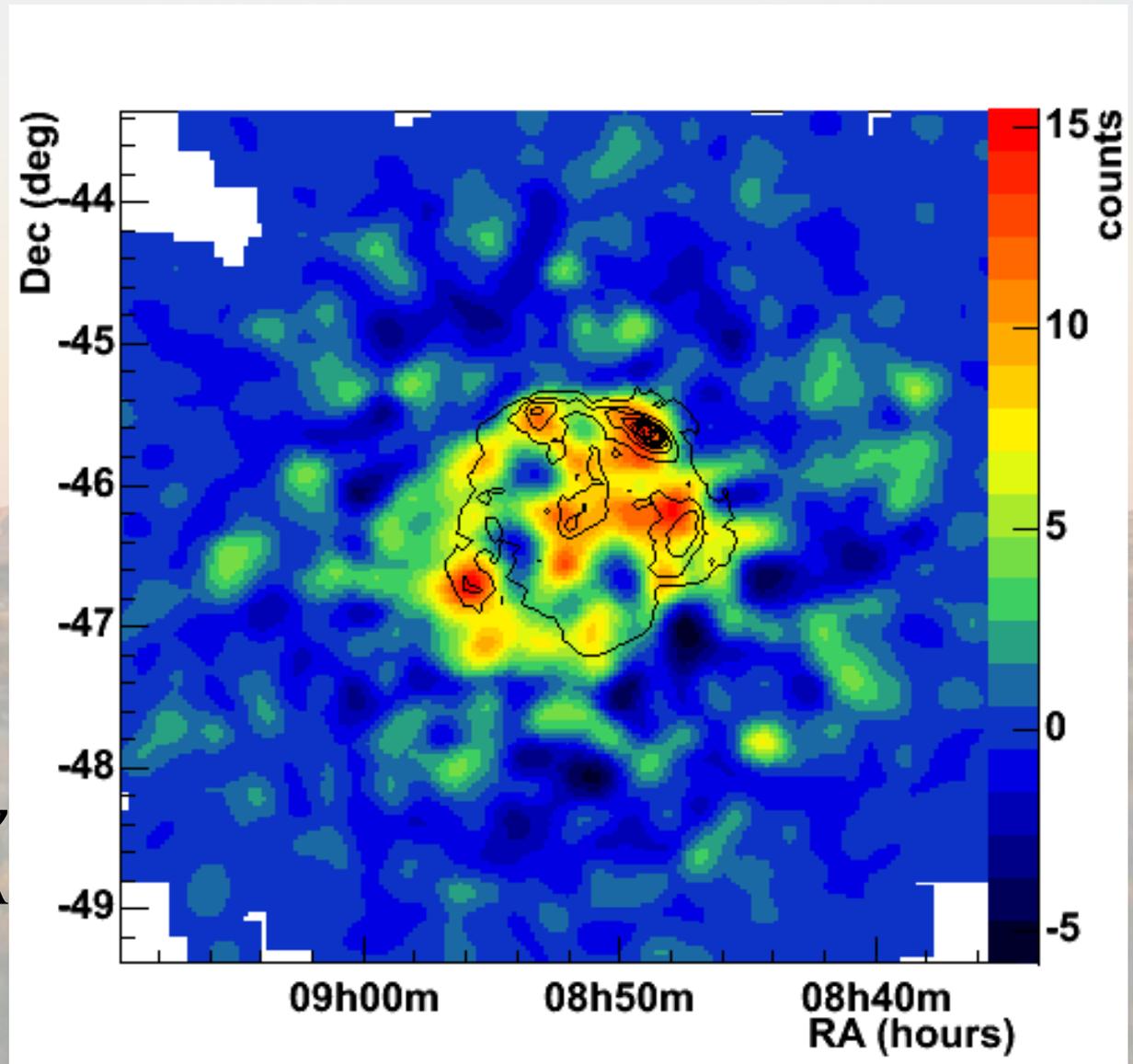
Un Reste de Supernova : G0.9+0.1

- $\sim 0,7^\circ$ du centre galactique
- 10σ en 35 h



Un Reste de Supernova en Coquille : Vela Junior (RX J0852.0-4622)

- Février 2004
- Angle zénithal $\sim 25^\circ$
- 12σ en 3,2 h ($\theta < 1^\circ$)

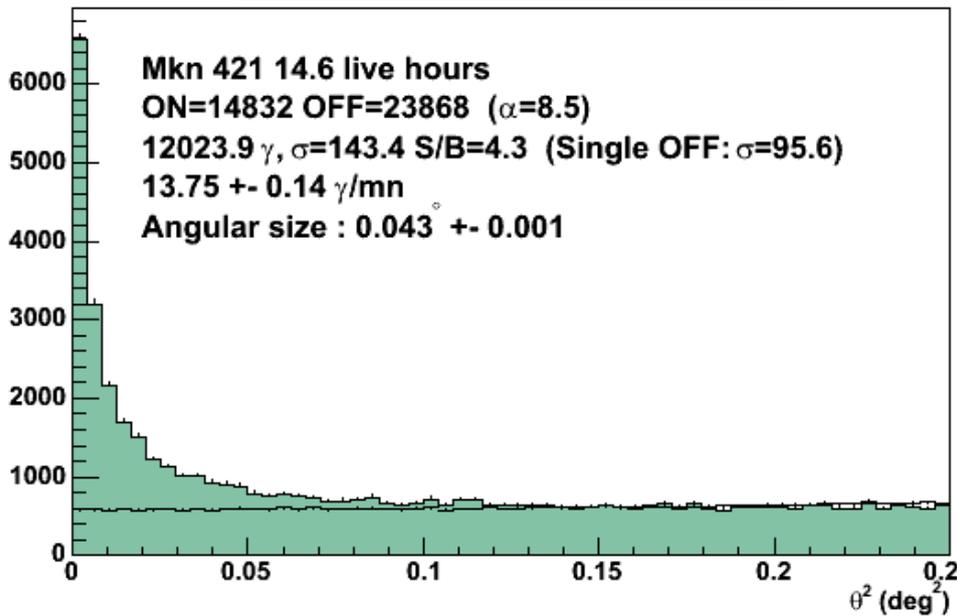


Carte du nombre de γ
Contours X : ASCA

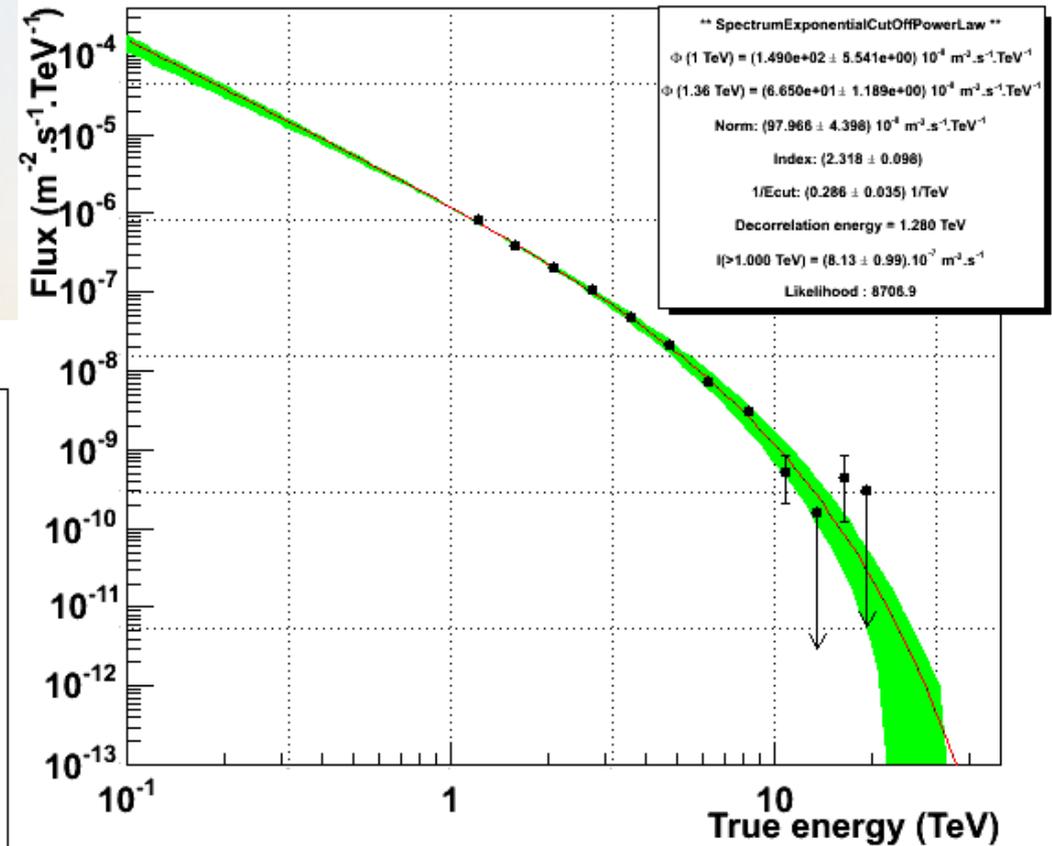
Un AGN : Mkn 421

- Angle zénithal $> 60^\circ$
- Plus de 140σ !!

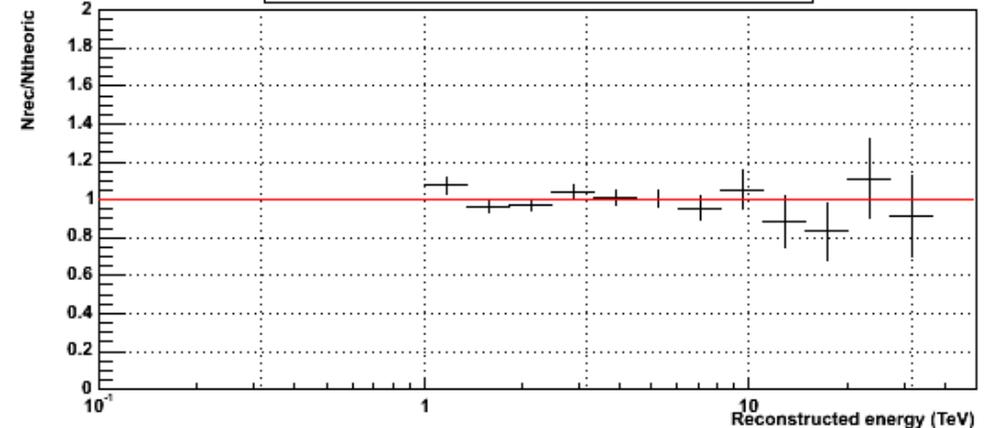
Mkn 421



Mkn 421



Residuals



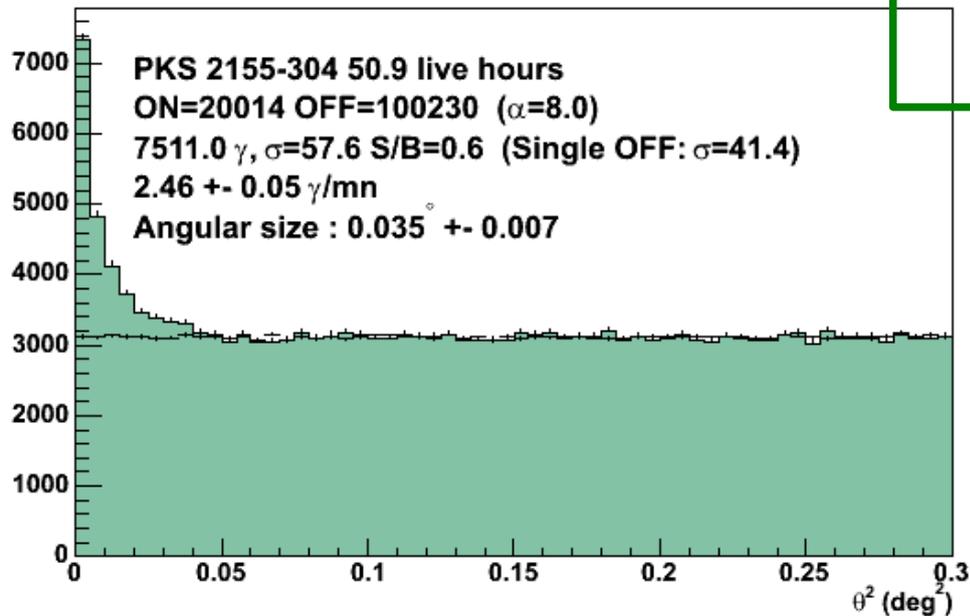
Un AGN : PKS 2155-304

- 1ère source détectée par HESS dès juillet 2002
- Visible à chaque période d'observation
- Visible dans un état bas et stable de la source ?

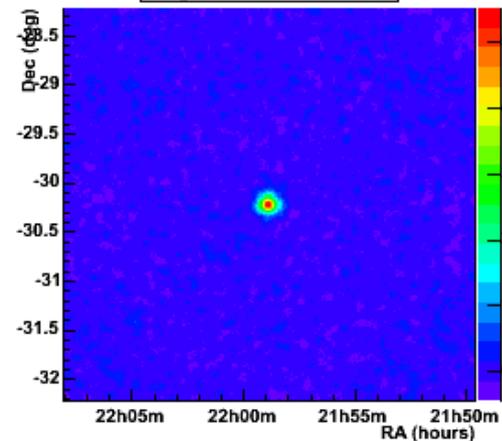
Données 2004

- 51 h
- 58 σ , 7511 γ

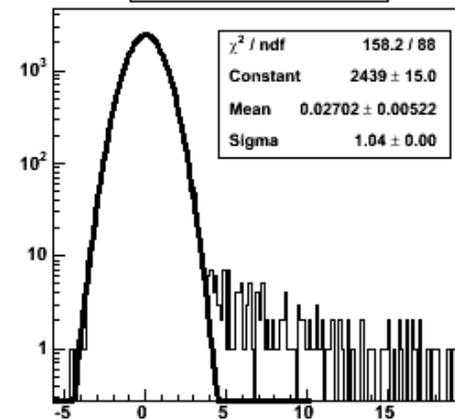
PKS 2155-305 2004



Significance Map



Significance distribution



SN1006 : Non Détection

• Observations

- 2003 : 2 télescopes, 18 h
- 2004 : 4 télescopes, 6h

