

A large radio telescope dish is visible in the foreground, set against a dramatic sunset sky with scattered clouds. The sun is low on the horizon, casting a warm glow. The telescope is a large, circular structure with a grid-like surface, mounted on a complex metal frame. The background shows a flat landscape with a few trees and a small white building in the distance.

L'expérience H.E.S.S.: une nouvelle ère en Astronomie γ

**Marianne Lemoine-Goumard
CENBG – Université Bordeaux I**

Journée de l'Astroparticule - 7 Septembre 2007



H.E.S.S.

100 km de Windhoek (Namibie) :

- Très bonne qualité optique du ciel
- Hémisphère peu observé
- Grande partie du plan galactique observable
- Réflecteur Davis-Cotton segmenté de 12 m de diamètre
- Agencement en carré de 120 m
- 960 pixels (PMTs) , diamètre 0.16°
- 5° champ de vue (1.4 m)



H.E.S.S.

Le relevé du plan galactique: notre galaxie dévoilée en gamma

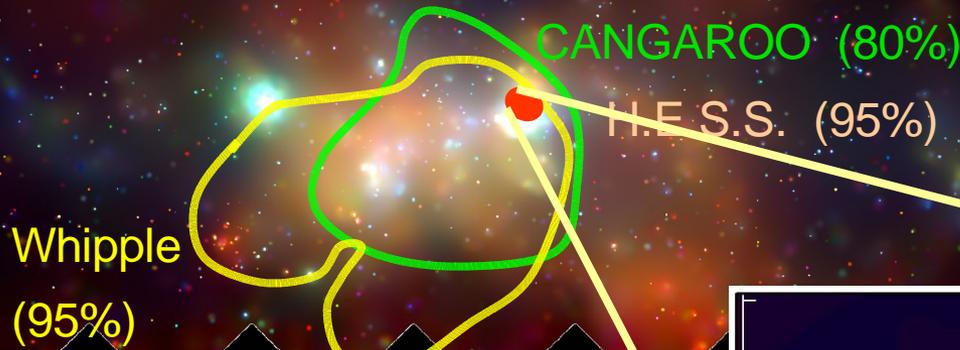
Sources $> 4\sigma$: 16 nouvelles (18 total), ApJ 636 (2006) 777



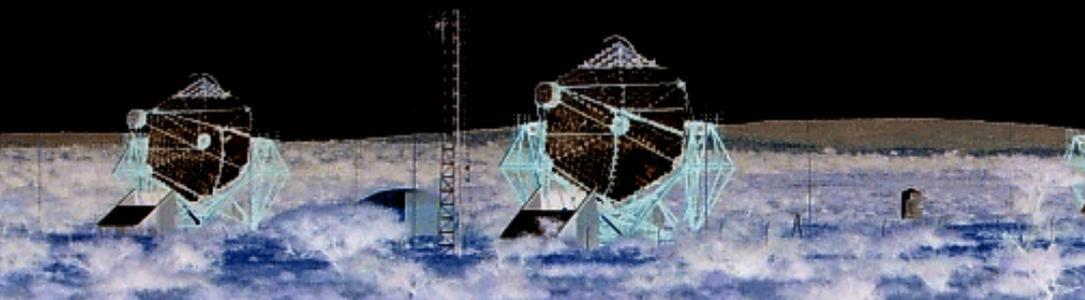
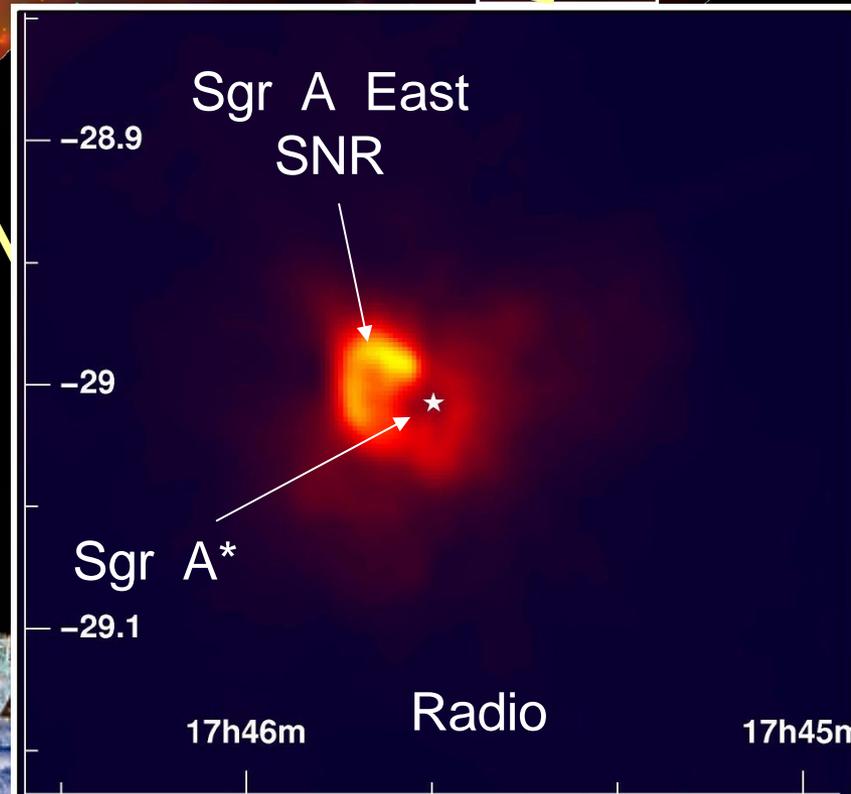
Le Centre Galactique:

Etude fine d'une source ponctuelle

Chandra GC survey
NASA/UMass/D.Wang et al.



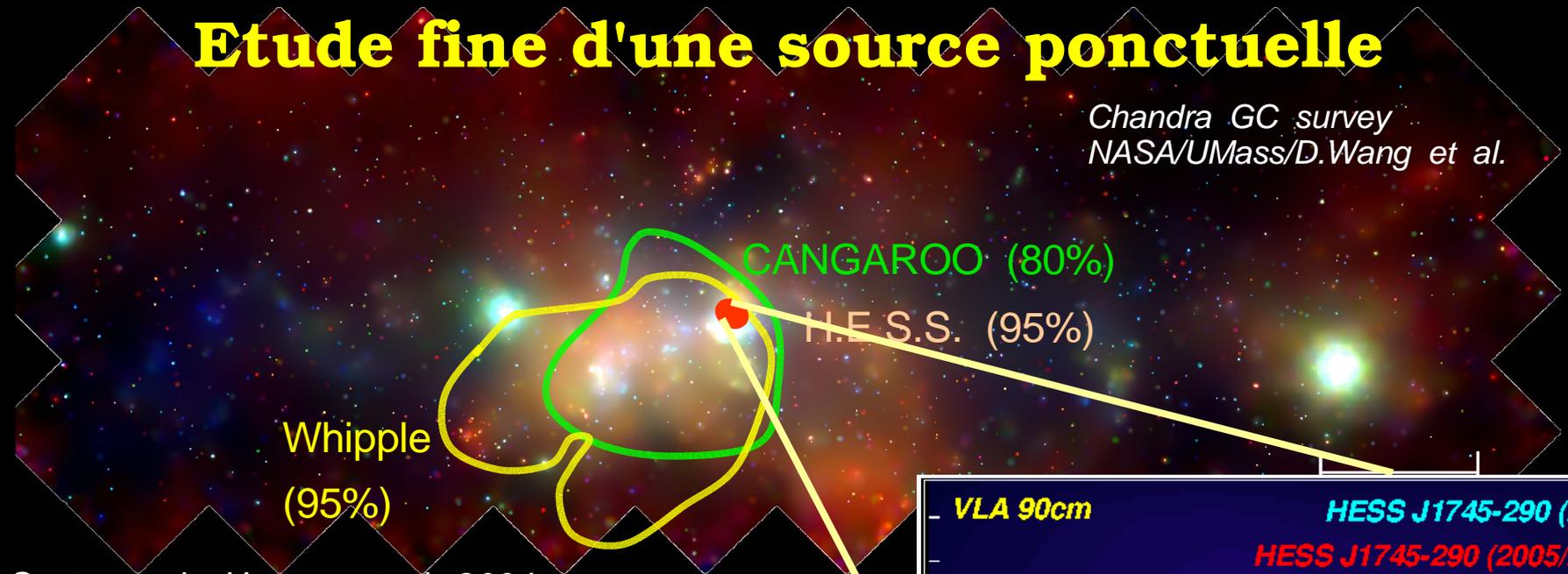
Contours de Hooper et al. 2004



Le Centre Galactique:

Etude fine d'une source ponctuelle

Chandra GC survey
NASA/UMass/D.Wang et al.

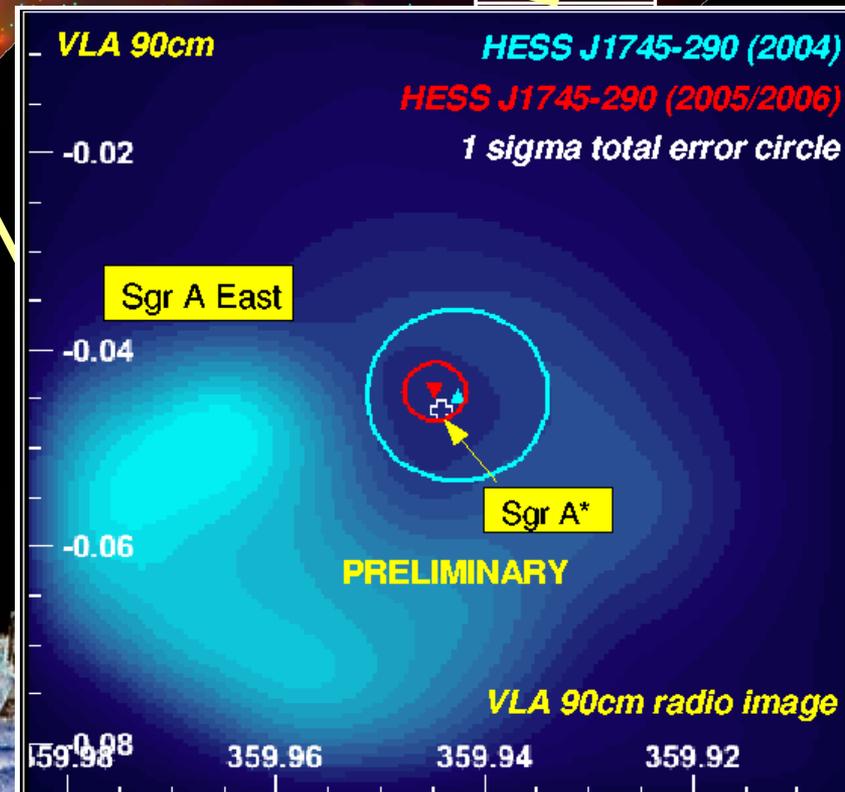


Contours de Hooper et al. 2004

Candidats possibles:

- Le trou noir Sgr A*
- Découverte récente d'un plerion
- Le reste de supernova SgrA East (maximum radio exclu à 7σ)

Matière noire ?

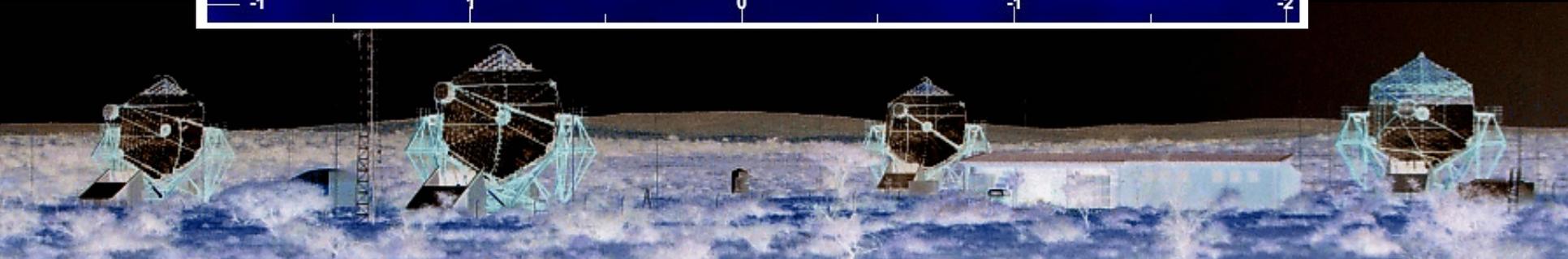
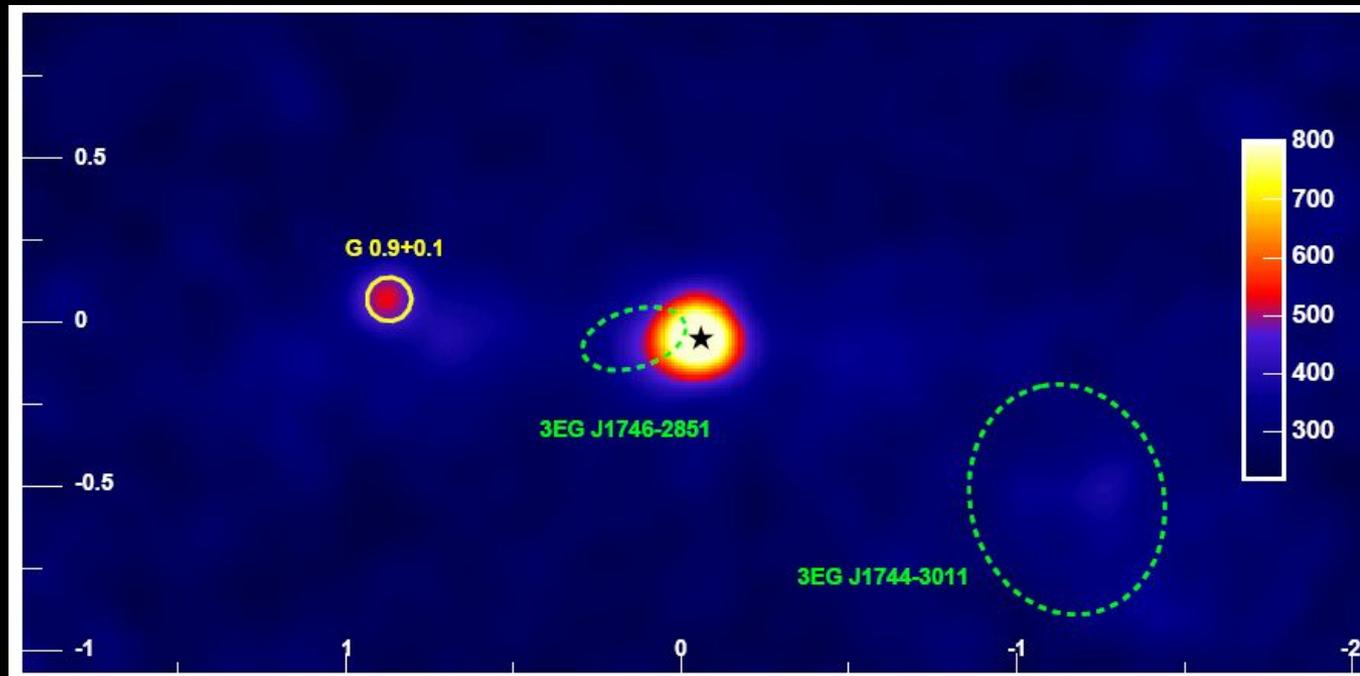


La région du centre galactique

Nature 439 (2006) 695

Avant soustraction de la contribution des sources ponctuelles

G09+0.1 et HESS J1745-290:



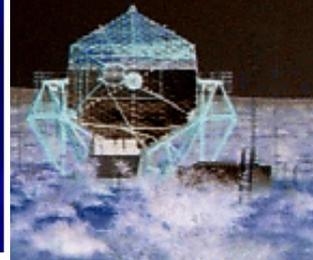
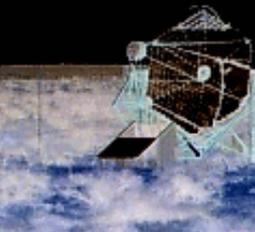
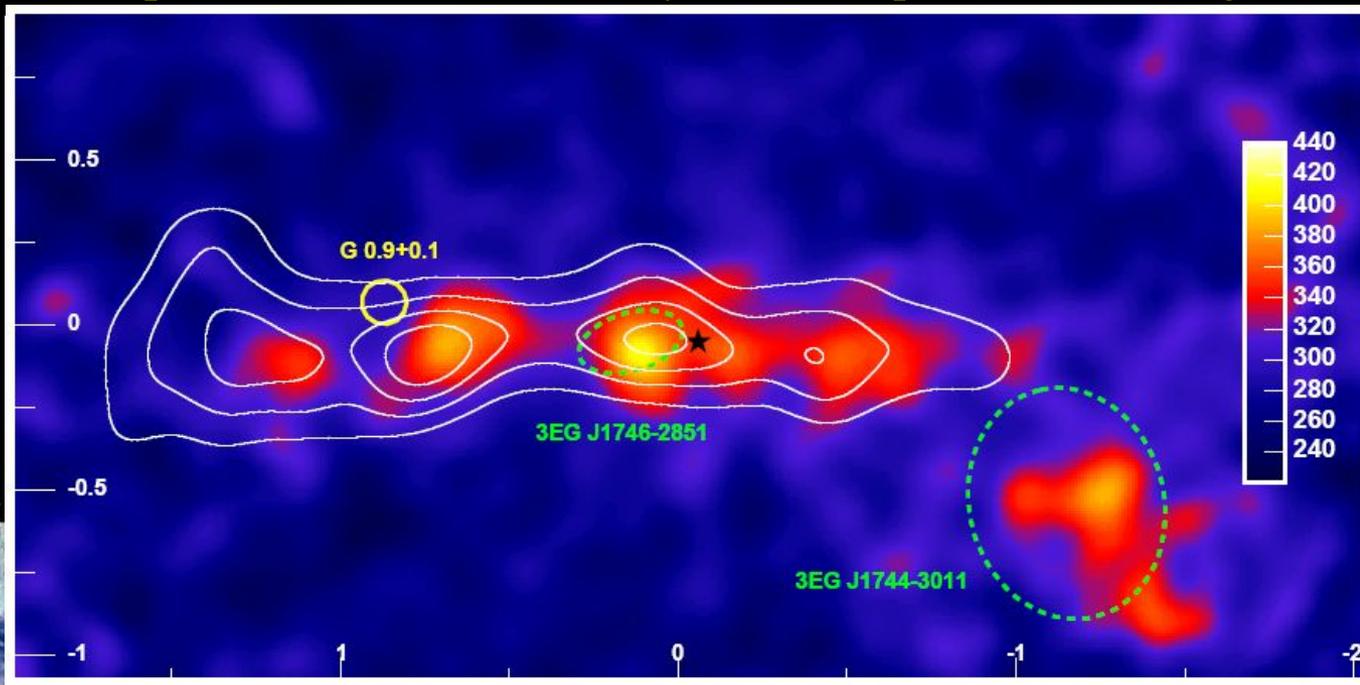
La région du centre galactique

Nature 439 (2006) 695

Après soustraction de la contribution des sources ponctuelles

G09+0.1 et HESS J1745-290:

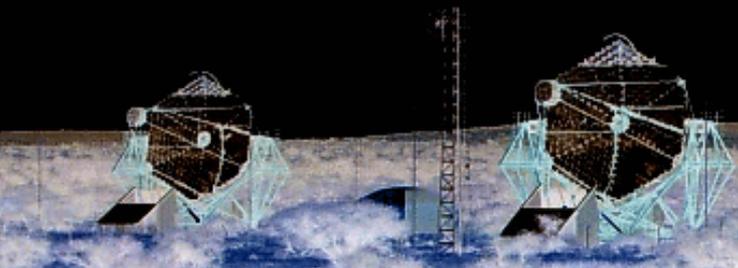
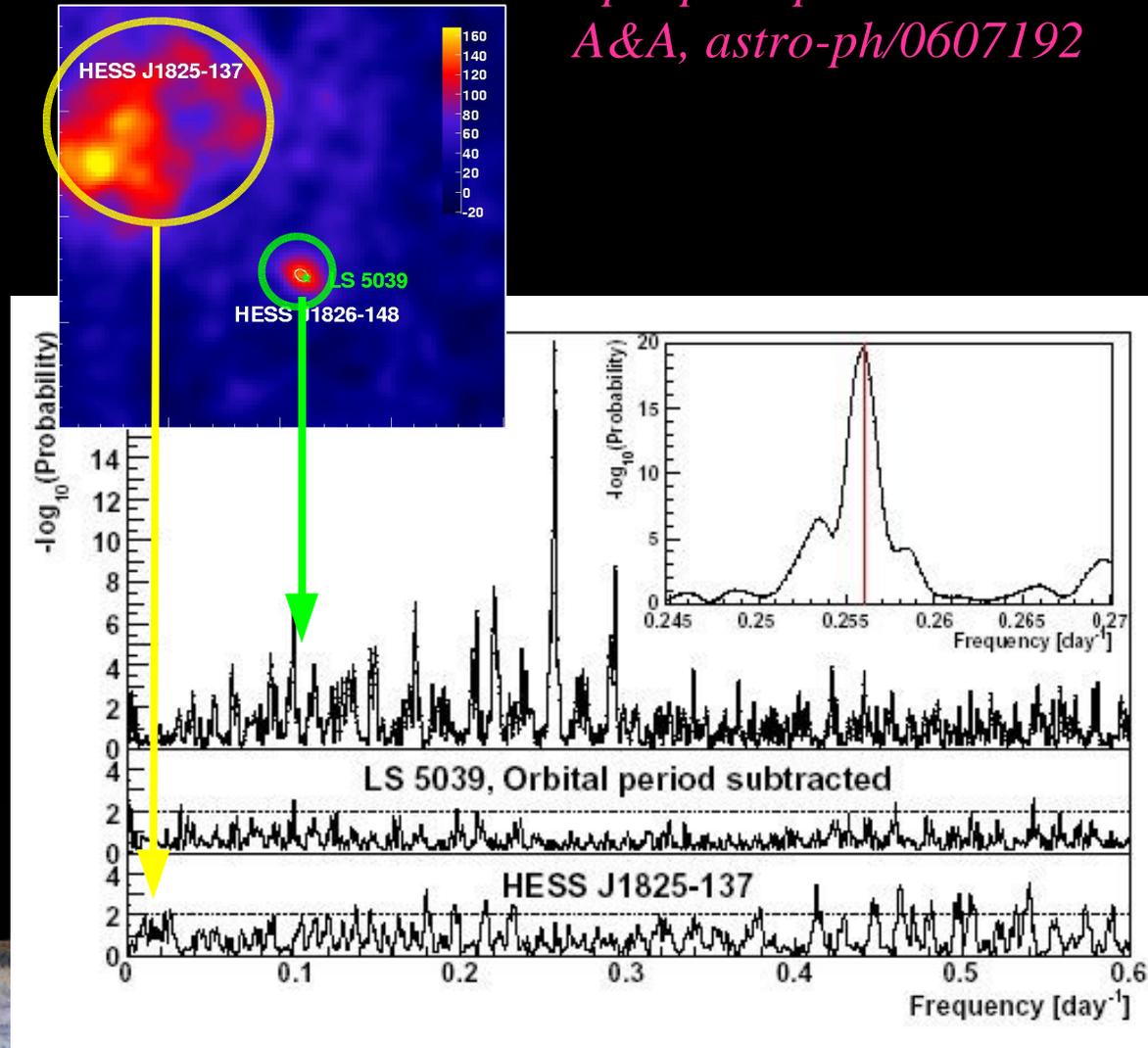
- Deux régions étendues d'émission γ
 - ◆ Forte corrélation avec la densité du milieu ambiant (tracée par le CO et CS)
 - ◆ Source EGRET 3EG1744-3011
- Spectre plus dur que le spectre des rayons cosmiques mesuré sur Terre => accélérateur proche
- Interprétation possible: interactions de rayons cosmiques dans les nuages moléculaires



Première mesure de périodicité orbitale au TeV : LS 5039

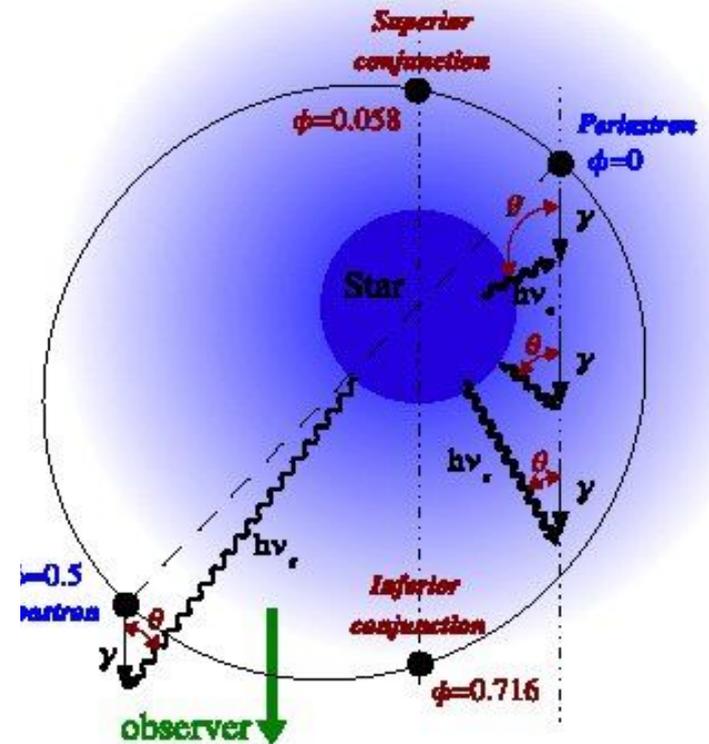
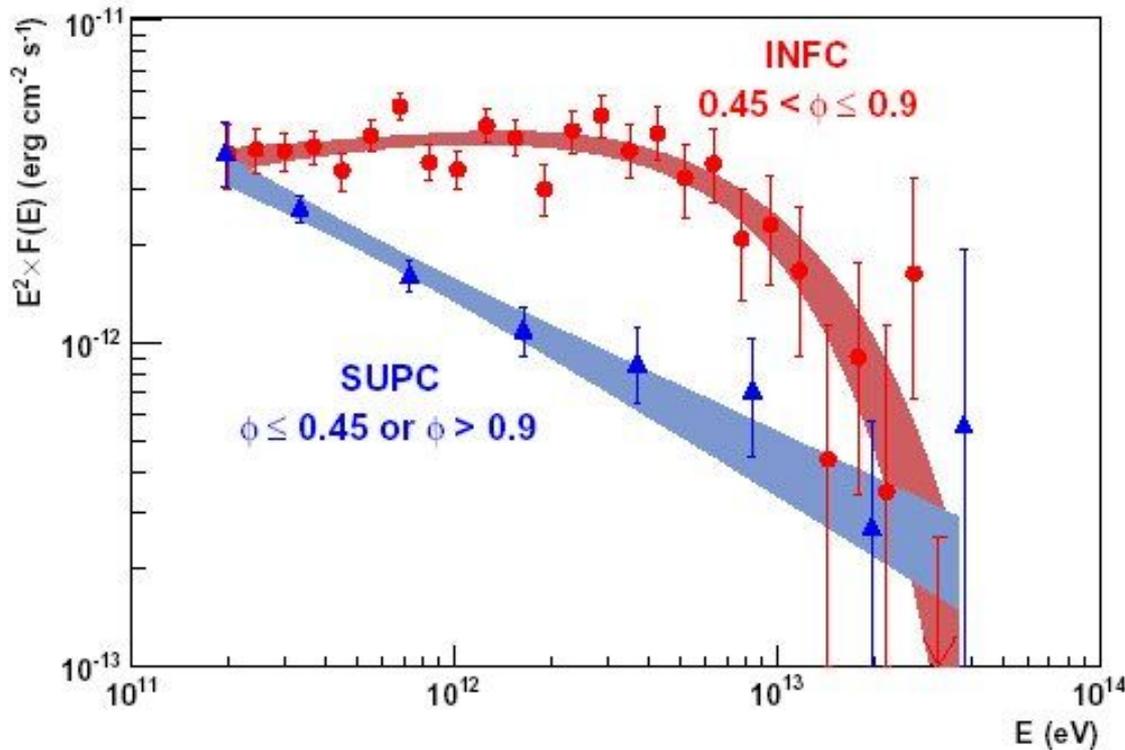
- H.E.S.S. a détecté deux systèmes binaires γ
 - ◆ PSR B1259-63
 - ◆ LS 5039 (candidat microquasar)
- Périodogramme Lomb-Scargle indique une période (3.9078 ± 0.00017 jours) compatible avec la période optique obtenue par Casares et al., 2005

*accepté pour publication dans
A&A, astro-ph/0607192*



LS 5039 : Modulation spectrale

- Spectres significativement différents en fonction de la phase orbitale : spectre plus dur lors de la conjonction inférieure
- L'absorption par le champs de photons de l'étoile compagne pourrait expliquer partiellement l'effet de modulation spectrale



Etude morphologique des vestiges de supernovae à coquilles (SNRs)

RX J1713.7-3946

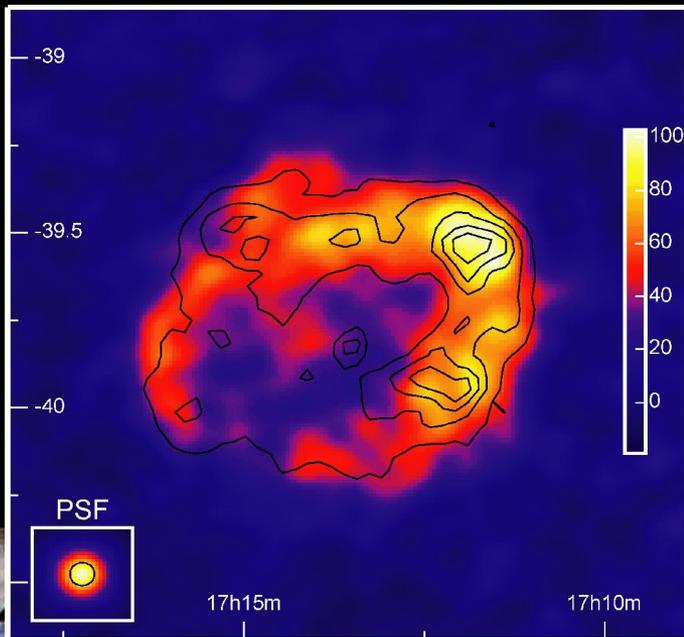
Coquille résolue avec HESS

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

=> **Première source résolue en gamma**

Aharonian et al., A&A, 449, 223 (2006)

Aharonian et al., Nature, 432, 75 (2004)



RX J0852.0-4622

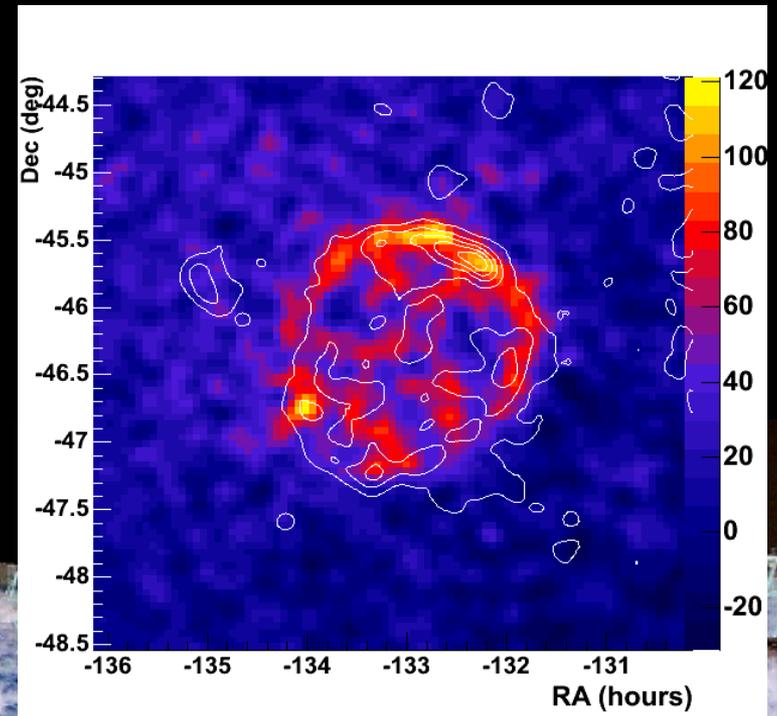
Coquille très fine résolue avec HESS

Corrélation avec les X: $\sim 65\%$

+ Corrélation avec la radio

Aharonian et al., ApJ, 661, 236 (2007)

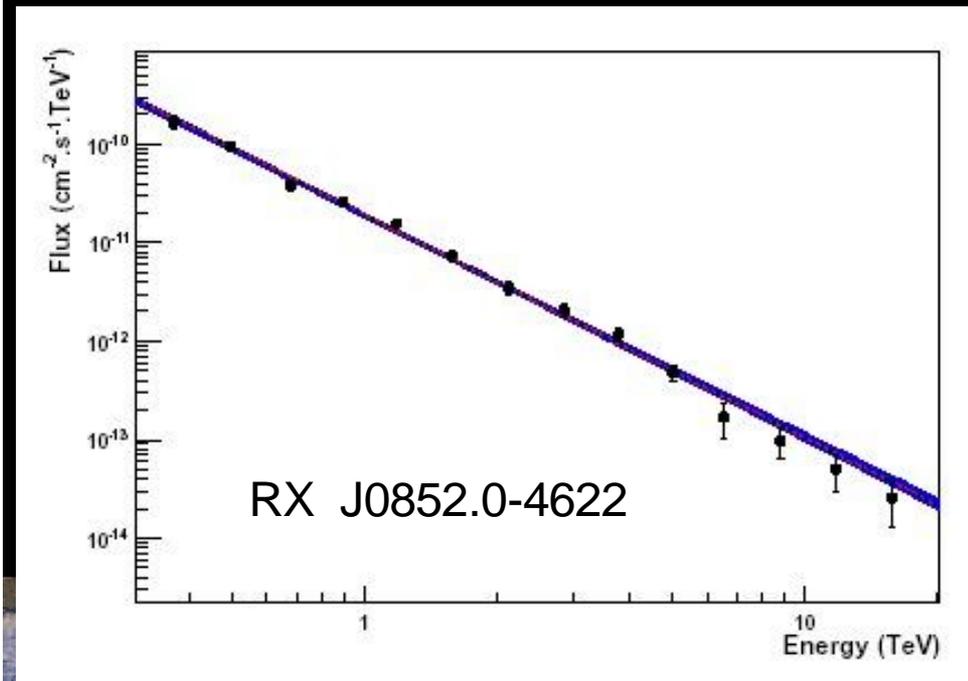
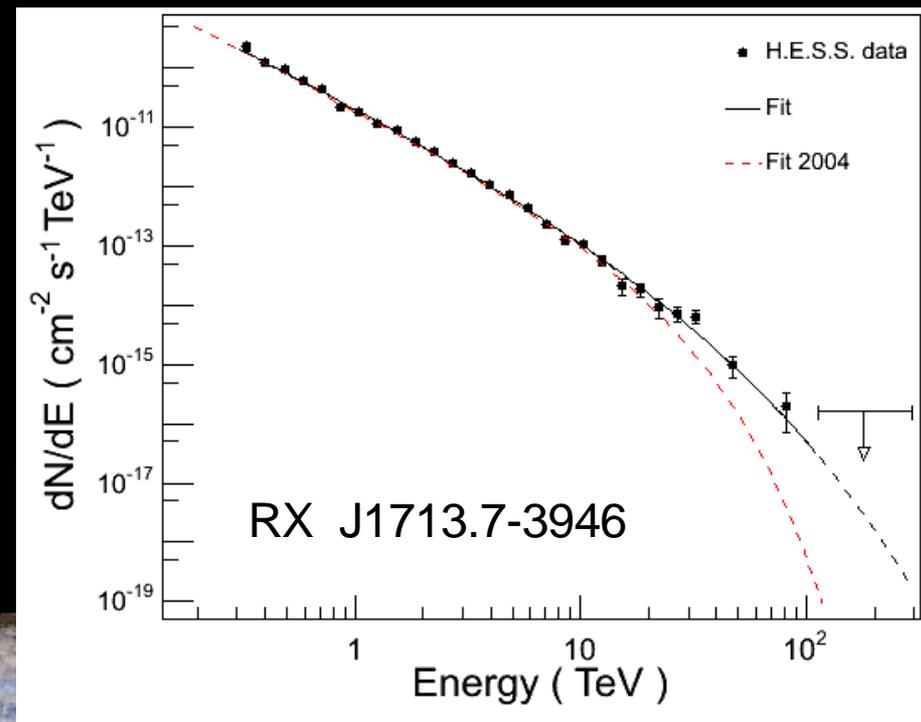
Aharonian et al., A&A, 437, L7 (2005)



Analyse spectrale des SNRs

*Des γ détectés jusqu'à plus de 20 TeV =>
des particules accélérées jusqu'à ~100 TeV*

- Emission significative au-dessus de 30 TeV dans le cas de RX J1713 (4.8 σ)
- Flux (~ Crab) et indices spectraux similaires
- **Origine électronique ou hadronique ?** Scénario électronique implique un champ magnétique peu élevé – Scénario hadronique requiert un milieu relativement dense



Sources extragalactiques

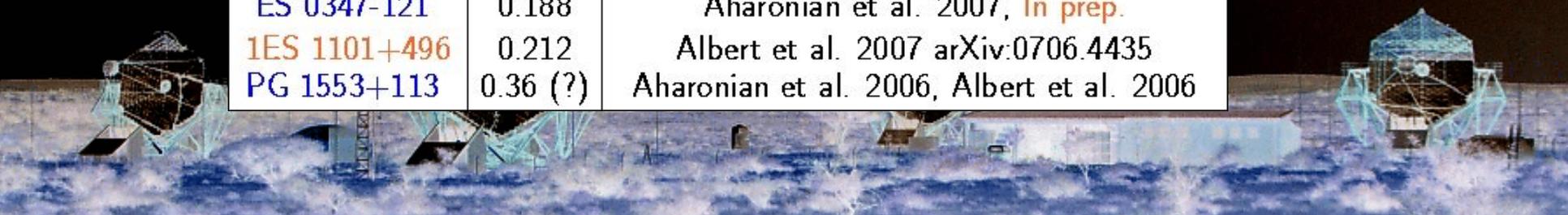
Blazars

- 9 nouveaux blazars détectés par H.E.S.S. en 2 ans
- > 1000 h de données sur des sources extragalactiques

Source	z	Discovery & Confirmation
Mrk 421	0.031	Punch et al. 1992, Petry et al. 1996
Mrk 501	0.034	Quinn et al. 1996, Bradbury et al. 1997
1ES 2344+514	0.044	Catanese et al. 1998, Tluczykont et al. 2003
Mrk 180	0.046	Albert et al. 2006
1ES 1959+650	0.047	Nishiyama et al. 1999, Holder et al. 2003, Aharonian et al. 2003
PKS 0548-322	0.07	Aharonian et al. 2007, <i>In prep.</i>
PKS 2005-489	0.07	Aharonian et al. 2005
PKS 2155-304	0.117	Chadwick et al. 1999, Hinton et al. 2003
H 1426+428	0.129	Horan et al. 2002, Aharonian et al. 2002, Djannati et al. 2002
ES 0229+200	0.140	Aharonian et al. 2007, <i>In prep.</i>
H 2356	0.167	Aharonian et al. 2005
1ES 1218+30.4	0.182	Albert et al. 2006
1ES 1101-232	0.186	Aharonian et al. 2006
ES 0347-121	0.188	Aharonian et al. 2007, <i>In prep.</i>
1ES 1101+496	0.212	Albert et al. 2007 arXiv:0706.4435
PG 1553+113	0.36 (?)	Aharonian et al. 2006, Albert et al. 2006

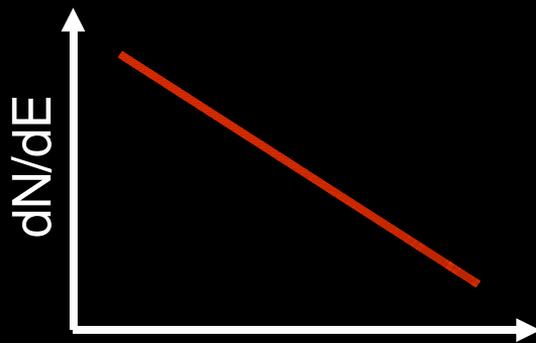
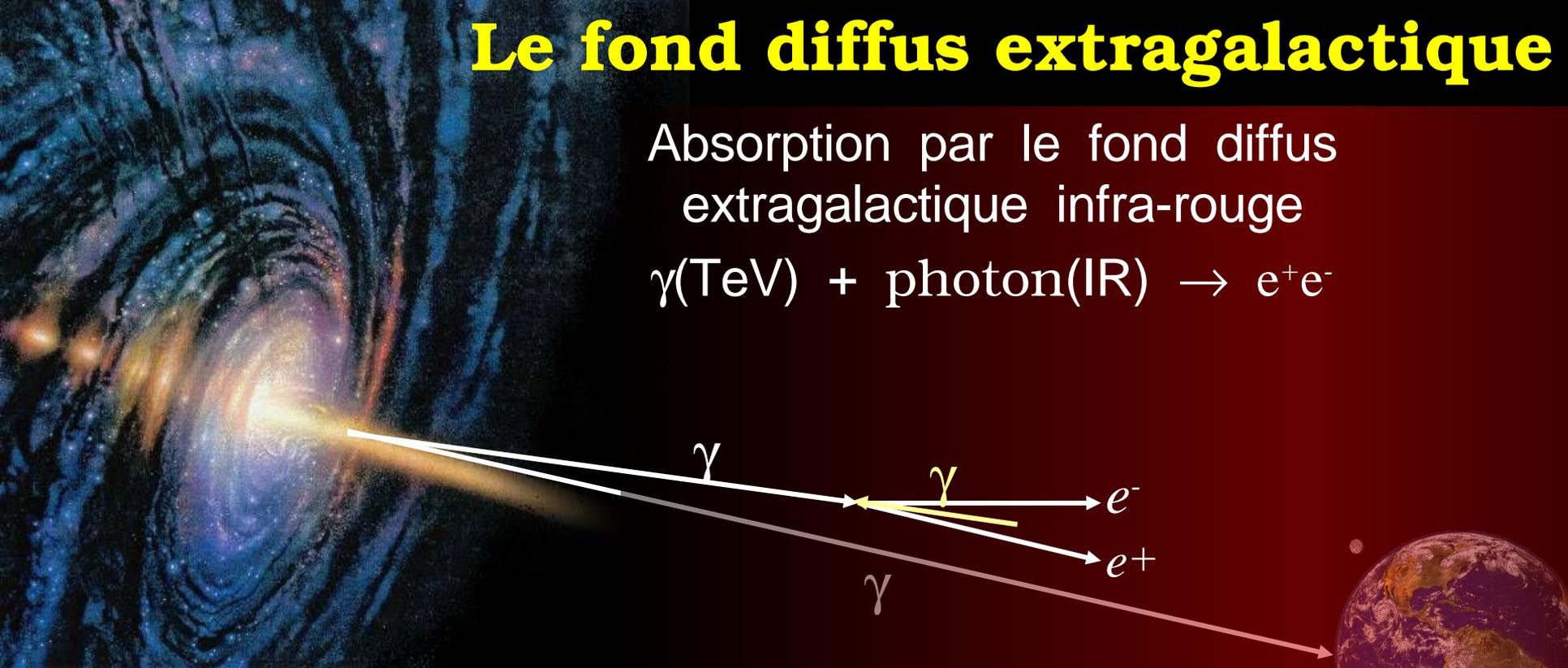
Sources détectés
par H.E.S.S. en
bleu

B. Giebels



Le fond diffus extragalactique

Absorption par le fond diffus
extragalactique infra-rouge



Spectre à la source
(objets compacts extragalactiques)

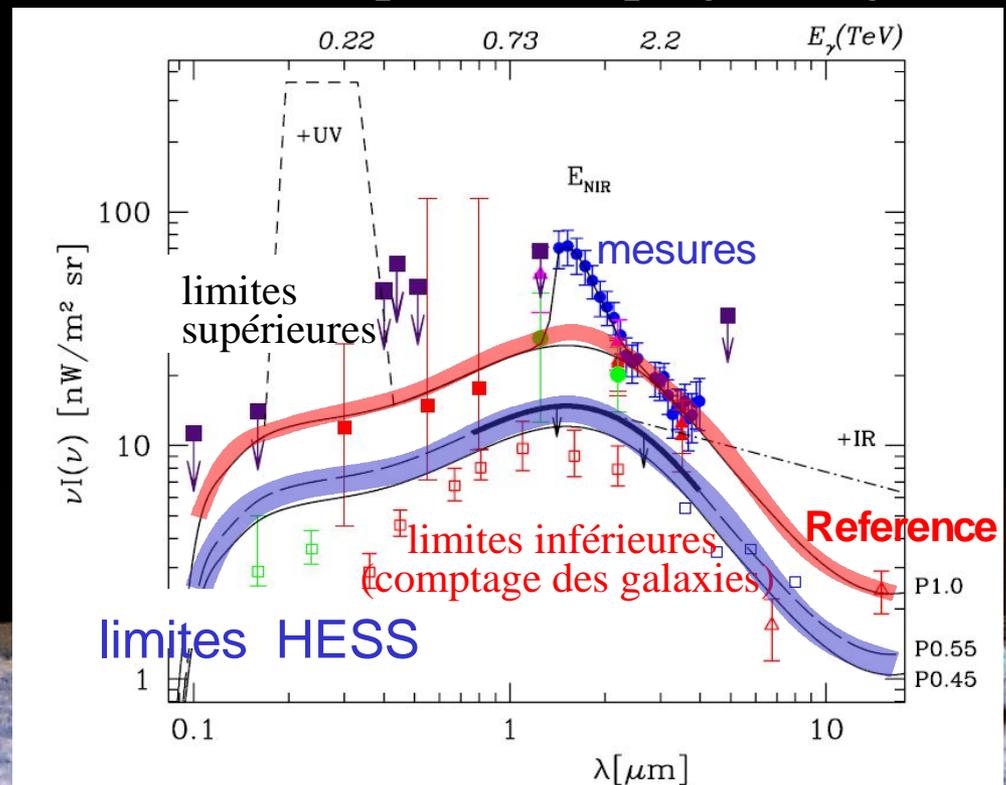
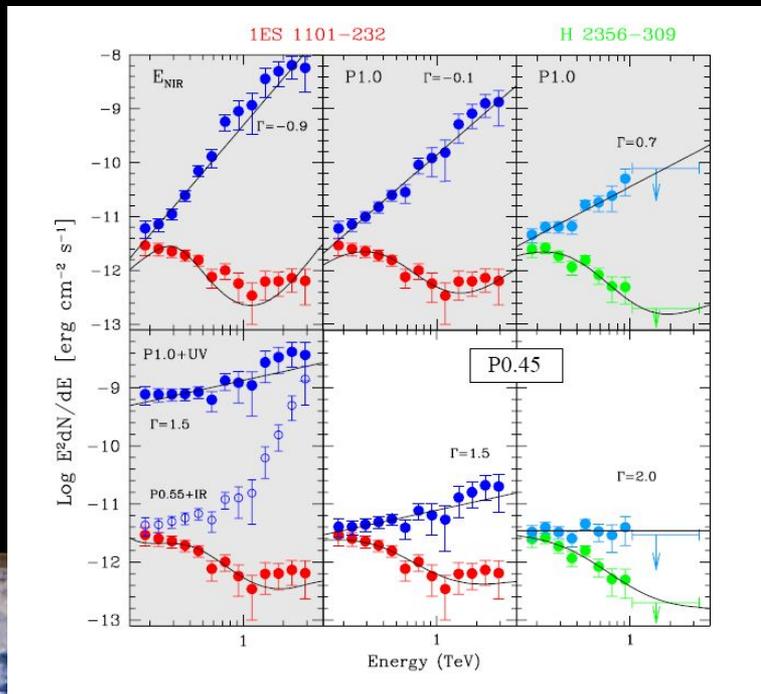


Mesure du fond diffus
(→ Cosmologie)

Contraintes sur le fond infra-rouge

(Nature 440 (2006) 1018)

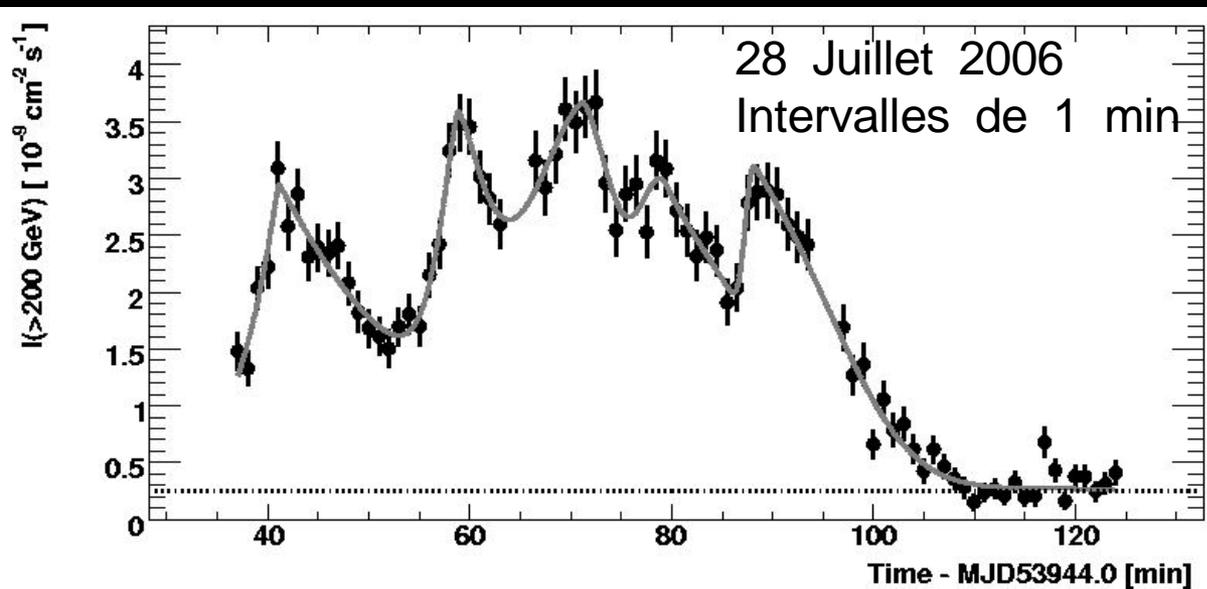
- Les spectres corrigés de l'absorption sont en bleu.
- Correction par P1 (diagrammes en grisé) : spectres incompatibles avec le mécanisme d'accélération.
- P0.45 (diagrammes à fond clair) convient.
- **Fond IR proche des bornes inférieures** données par le comptage des galaxies.



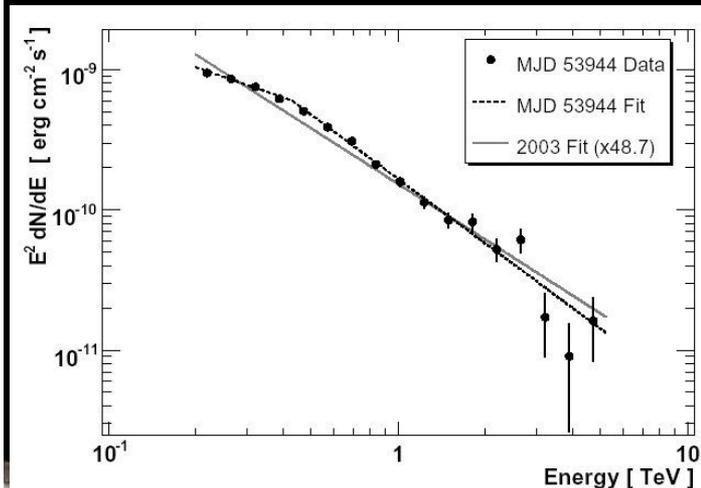
PKS2155-304:

grand sursaut d'intensité en Juillet 2006

- PKS 2155-304 a été détecté par H.E.S.S. à chaque observation
→ le plus souvent **en état quiescent** (une première au TeV)
- ... mais en Juillet 2006, de grands sursauts d'intensité (jusqu'à 15 fois celle du Crabe) ont permis de réaliser une étude de variabilité à l'échelle de la minute.



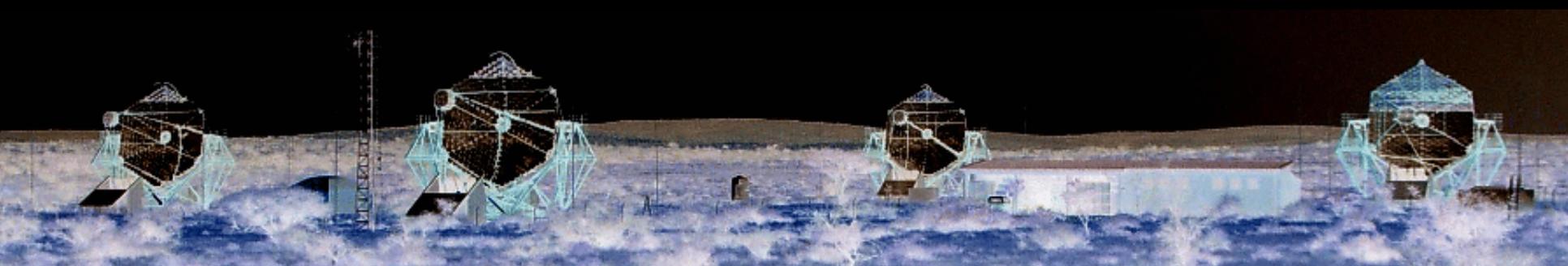
Pas de variabilité spectrale



Publications H.E.S.S. (2004-2007)

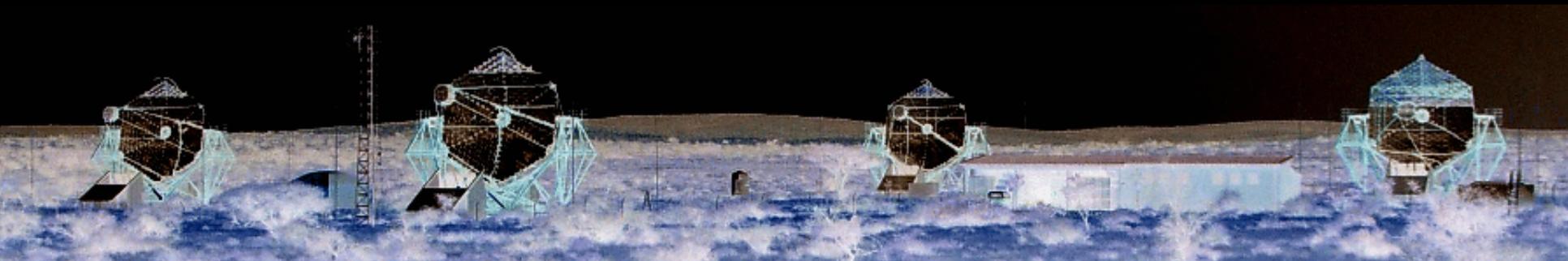
35 publications + 5 papiers soumis

Région du Centre Galactique	1 (Nature) + 1 (A&A)
Vents stellaires	1 (A&A)
Vestiges de supernovae à coquilles	1 (Nature) + 4 (A&A) + 1 (A&A soumis) + 1 (ApJ)
Nébuleuses de pulsars	7 (A&A) + 1 (A&A soumis)
Systèmes binaires	1 (Science) + 2 (A&A)
Noyaux actifs de galaxie	1 (Science) + 7 (A&A) + 2 (A&A soumis) + 1 (ApJ)
Fond diffus extragalactique	1 (Nature)
Galaxie à flambée d'étoiles	1 (A&A)
Matière noire	1 (Phys. Rev. Lett.) + 1 (A&A soumis)
Rayons cosmiques	1 (Phys Rev.)

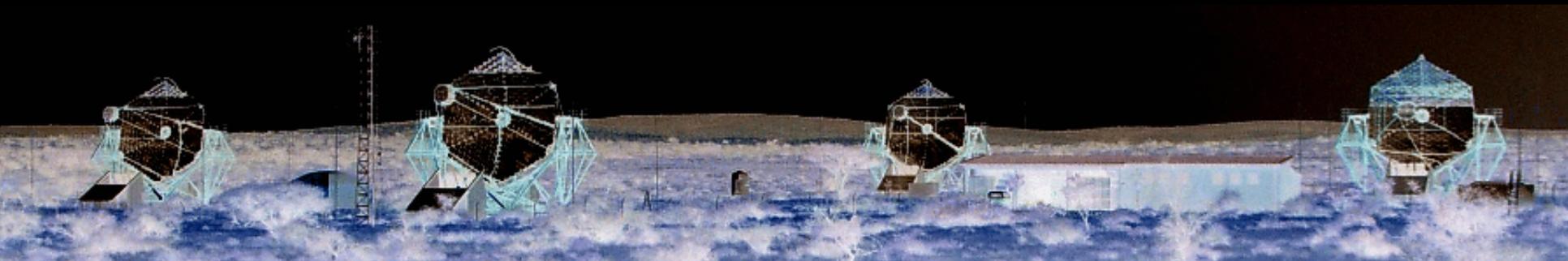


Conclusion

- Déjà un catalogue de plus d'une trentaine de sources alors qu'au dessus de 200 GeV on ne disposait que de 5 sources confirmées en 2001 dont une source galactique (la Nébuleuse du Crabe)
- La galaxie est enfin dévoilée en gamma: grande variété de sources (vestiges de supernovae à coquilles, nébuleuses de pulsars, systèmes binaires, sources non identifiées...)
- Sources extragalactiques: nouveaux blazars à redshifts $> 0.1 \Rightarrow$ contraintes sur le fond infra-rouge extragalactique
- Un sursaut de grande intensité (jusqu'à 15 Crab) observée sur PKS 2155-304: source la plus brillante du ciel détectée en gamma de VHE



Back-Up slides

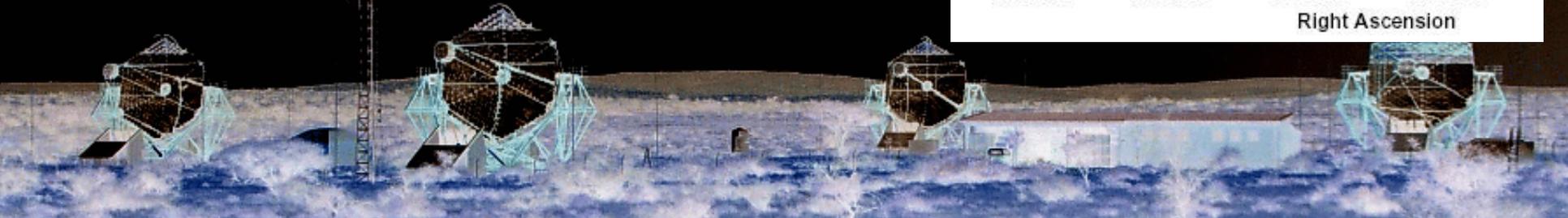
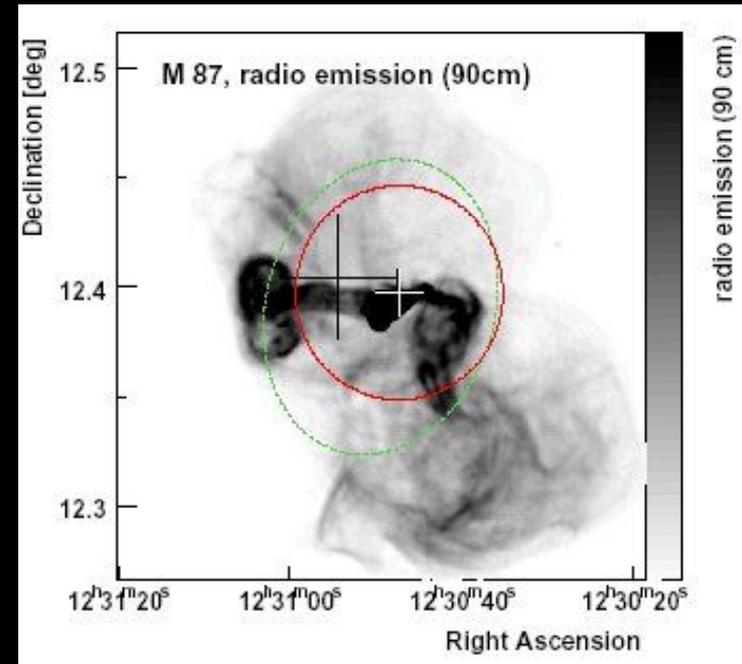


La radiogalaxie M87 :

1^{er} noyau actif de galaxie non blazar détecté au TeV

(Science 314 (2006)1424)

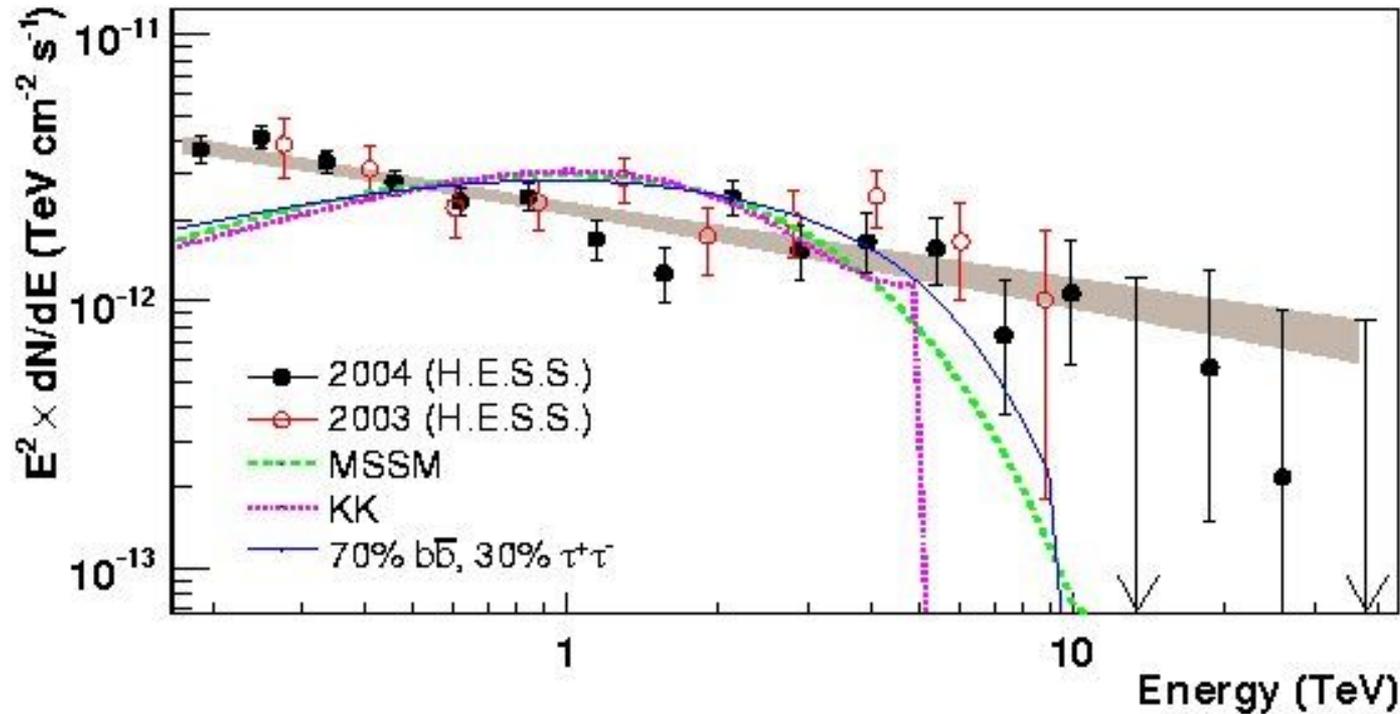
- M87, cœur de l'amas Virgo d=16 Mpc ($z=0.0043$), abrite un trou noir de $3.2 \times 10^9 M_{\text{solaire}}$
- Jet de plasma à 30° de la ligne de visée \Rightarrow M87 n'est pas un blazar
- Première indication (4.1σ) fournie par HEGRA en 1998
- Observations H.E.S.S. de 2003 à 2006 \rightarrow signal de 13σ , source « ponctuelle » compatible avec la position du noyau actif.
- Variabilité à l'échelle de l'année (3.2σ)
- Variabilité à l'échelle du jour ($>4 \sigma$) observée en 2005



Le Centre Galactique

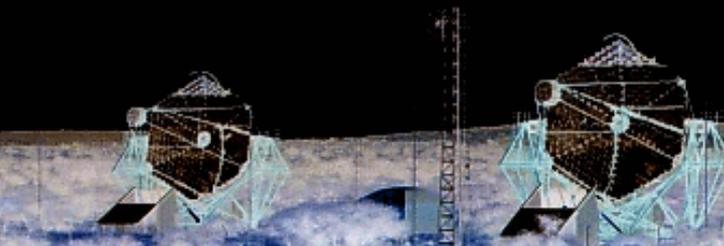
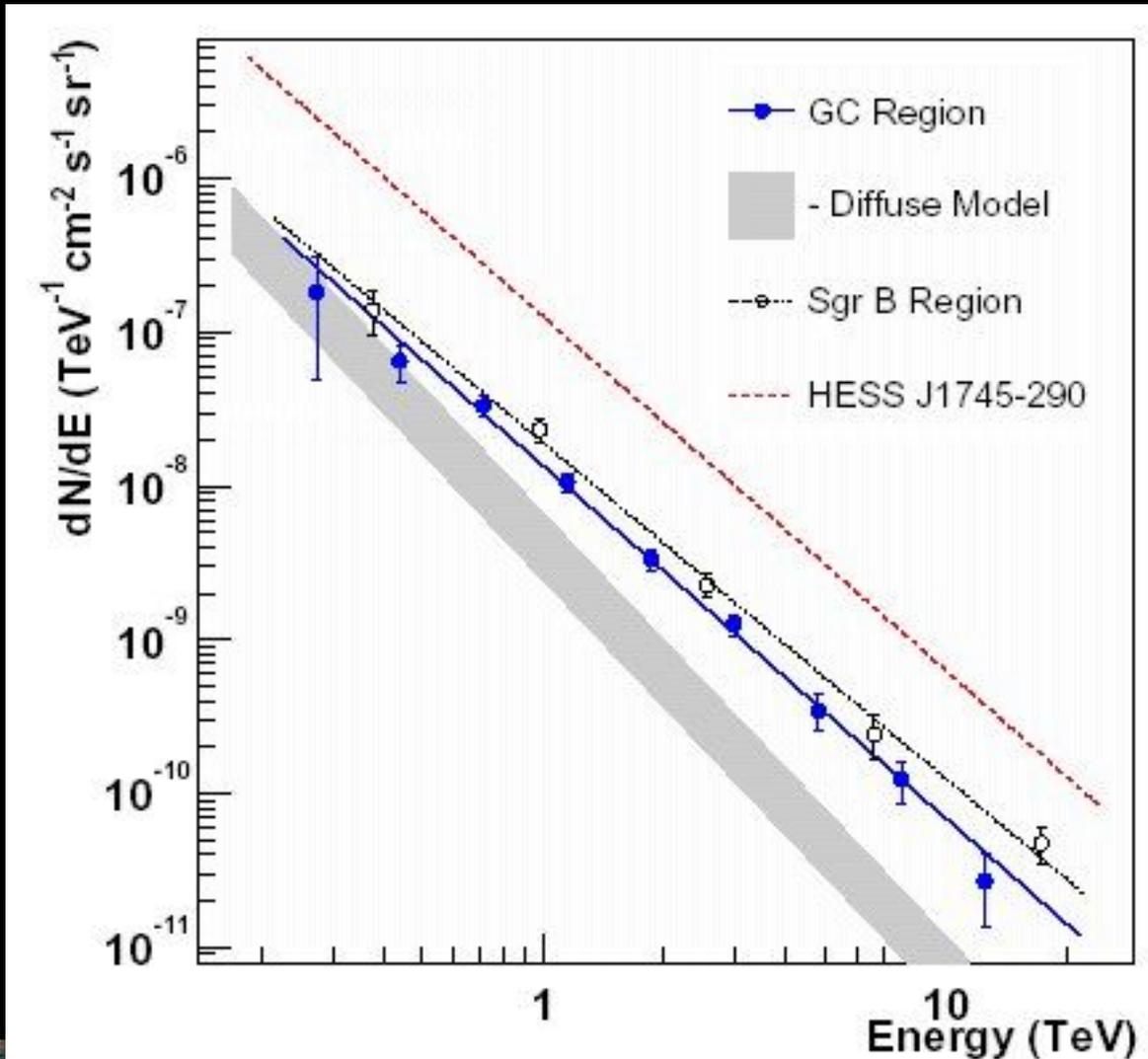
Phys. Rev. Lett. 97 (2006) 221102

- Le spectre de la source centrale HESS J1745-290 ne peut pas être interprété par l'annihilation d'éventuelles particules de matière noire (e.g. neutralinos)
- Il est dû principalement ou totalement à une source astrophysique conventionnelle (le vestige de supernova SgrA East ou le trou noir central SgrA*)



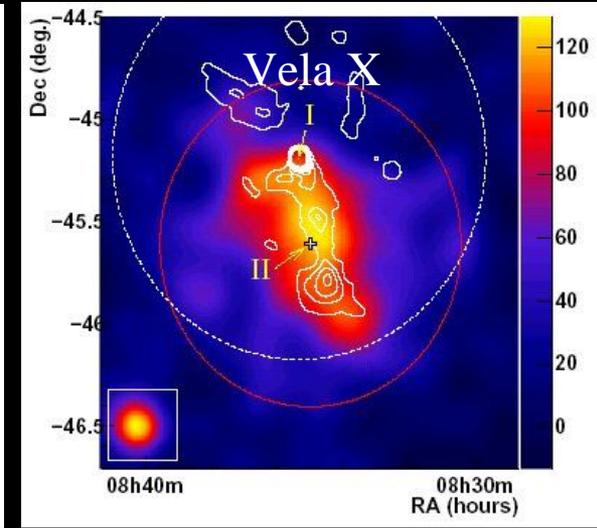
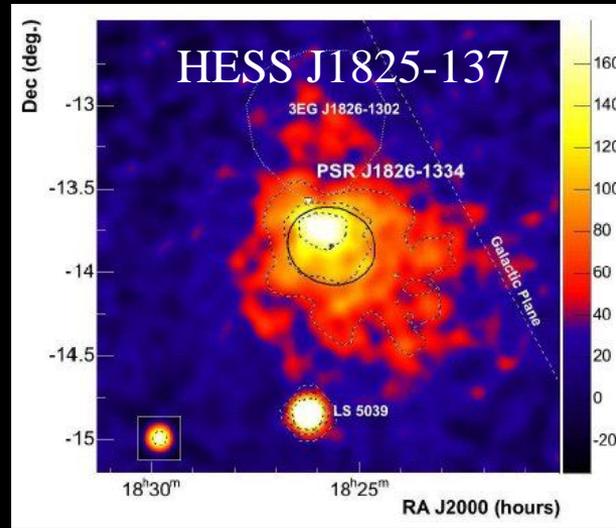
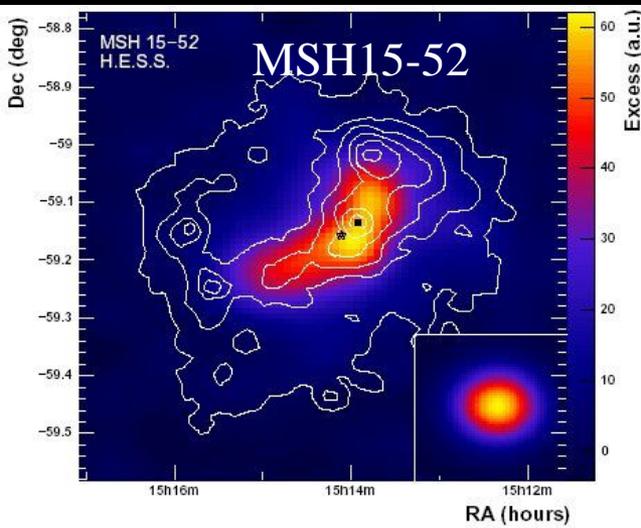
Spectre de l'émission diffuse dans la région centrale de la Galaxie

- Points bleus : émission diffuse
- Pointillés = spectre de la source centrale HESS J1745-290
- La bande grise correspond au spectre attendu pour les γ de désintégration des π^0 , en supposant que le spectre des RC est le même que dans le voisinage du Soleil.



Nébuleuses de pulsars ou plérions

- Plusieurs nébuleuses de pulsars observées par H.E.S.S. sont asymétriques et présentent un **pulsar décentré**.



- Ceci peut s'expliquer si l'explosion de la supernova a eu lieu en milieu inhomogène (présence d'un nuage moléculaire → choc en retour qui peut décaler la position de la nébuleuse.)

A&A 435(2005)17L

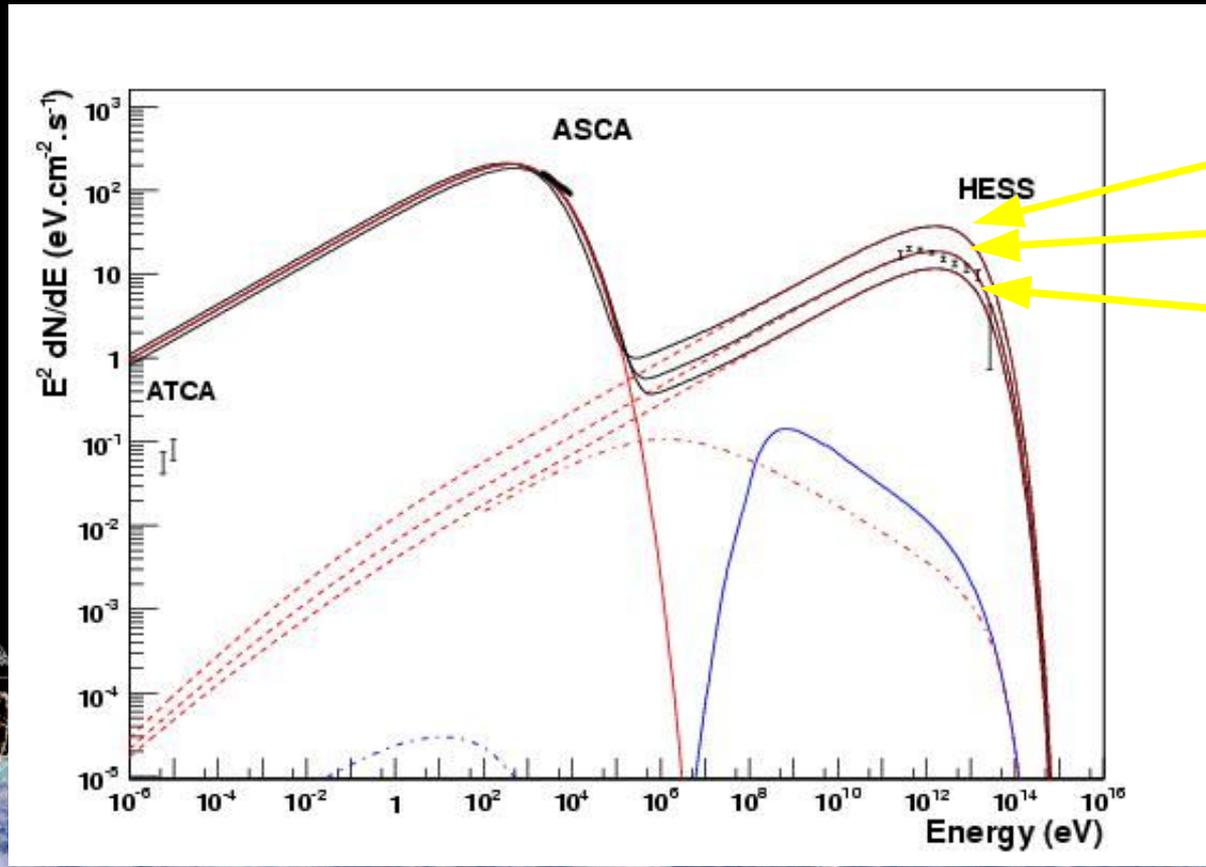
A&A 460(2006)365

A&A 448(2006)L43



La population primaire: des électrons ?

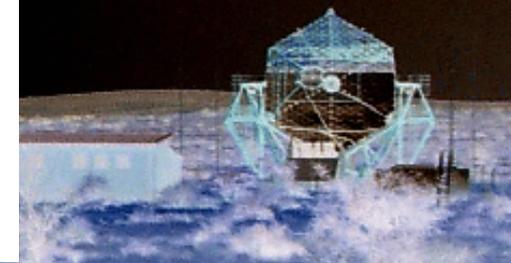
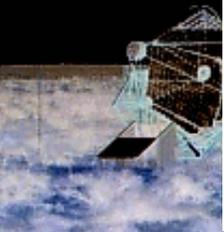
- **Electrons:** loi de puissance d'indice 2.4 + coupure exponentielle à 80 TeV
- Energie injectée: 10^{50} erg
- Facteur électron/proton: $\sim 3 \times 10^{-2}$



$B = 6 \mu\text{G}$

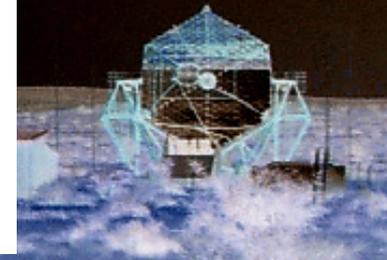
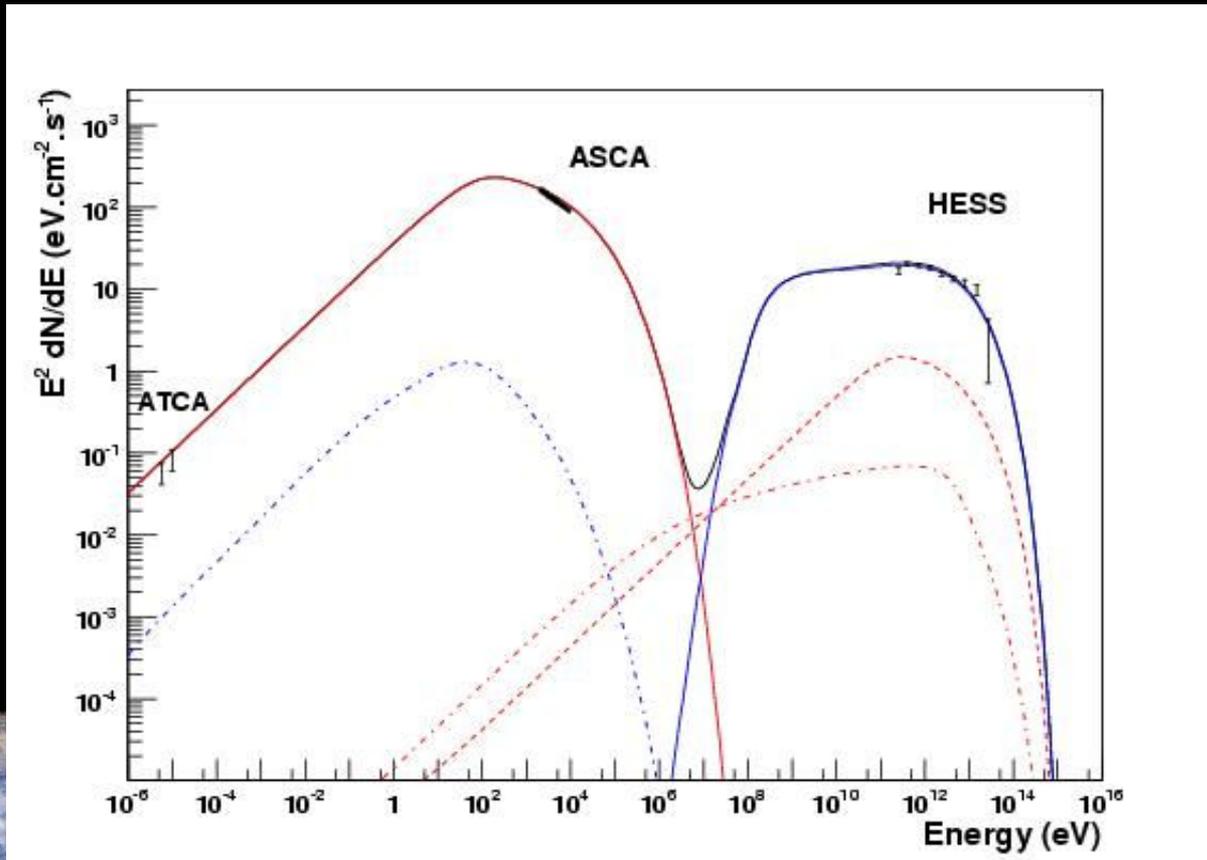
$B = 8 \mu\text{G}$

$B = 10 \mu\text{G}$



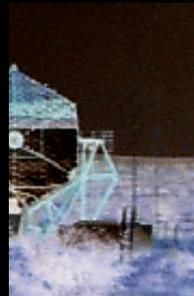
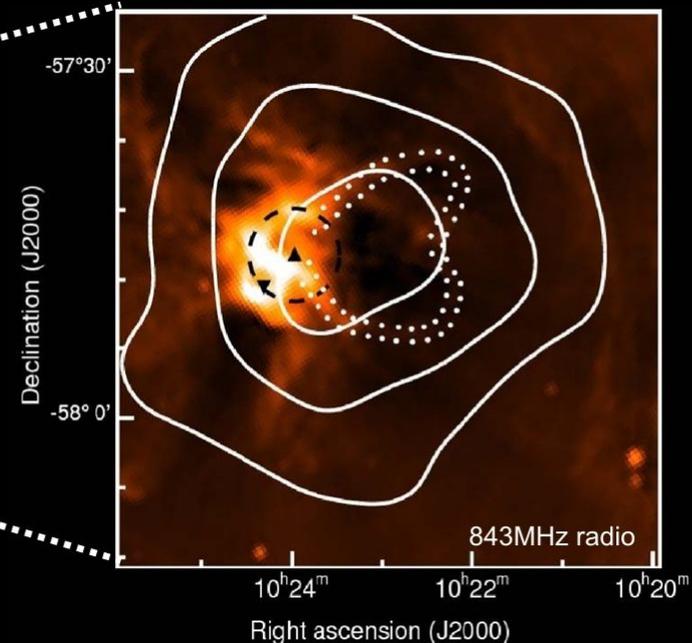
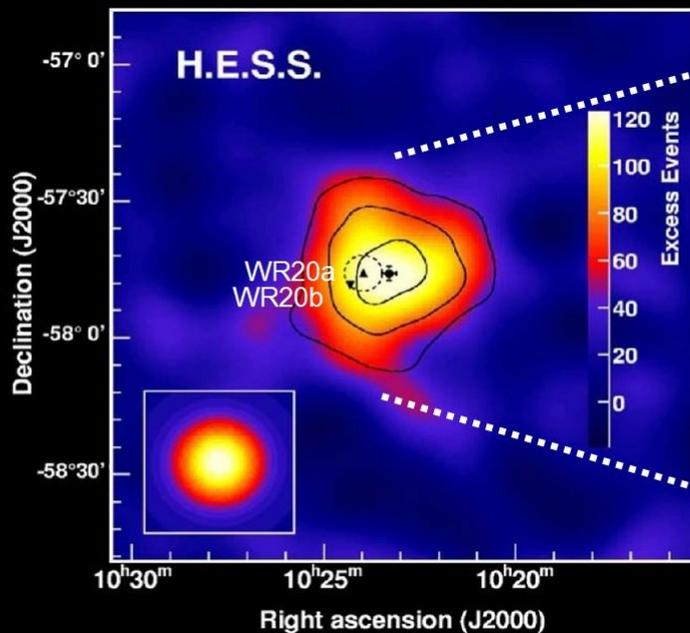
La population primaire: des protons ?

- Distribution des **protons** : loi de puissance + coupure exponentielle
 $E_{\text{cut}} = 120 \text{ TeV}$ et indice = 1.98
- Energie injectée = 10^{50} ergs
- Facteur électron/proton = 5×10^{-4}
- Champ magnétique = $35 \mu\text{G}$ et Densité = 1.5 cm^{-3}



Les régions de formation d'étoiles, sites d'accélération de particules

- ◆ H.E.S.S. observe une source (9σ) en direction de l'amas ouvert Westerlund 2 : **HESS J1023-575**
- ◆ La région abrite **des étoiles massives avec de forts vents stellaires**: par exemple les systèmes binaires WR20a et WR20b
- ◆ La source HESS J1023-575 apparaît **légèrement étendue**. Elle n'est pas variable.



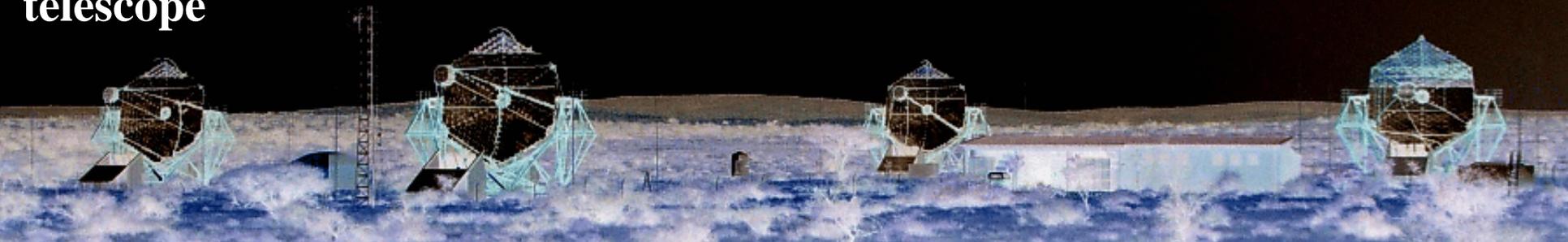
La prochaine étape: H.E.S.S. II

Très grand télescope centrale

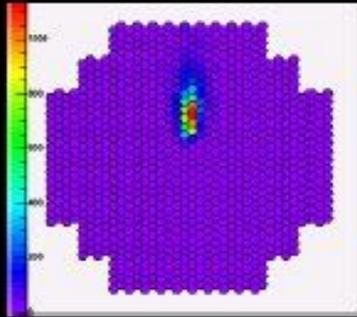
Surface $\sim 28\text{m}$ (600 m²)
f $\sim 35\text{ m}$ (Parabolique)



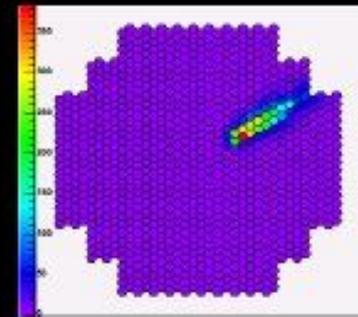
- Seuil en énergie plus bas
- Meilleure sensibilité à plus haute énergie dans le domaine HESS I + grand télescope



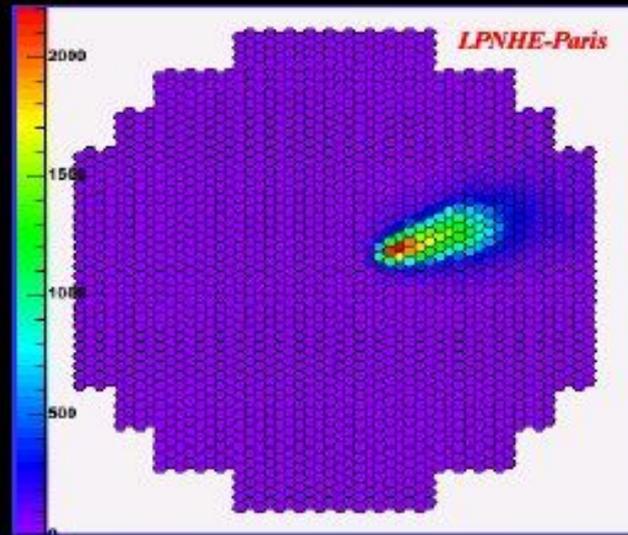
Images simulées HESS II à 2 TeV



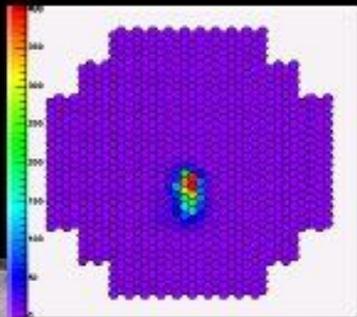
A la même énergie,
amélioration de
l'image de la gerbe



2048 pixels
Champ de $\sim 3.5^\circ$



Même technologie que HESS-I
même taille physique de PM
taille angulaire du pixel $\sim 0.07^\circ$
même bruit du ciel / pixel
(NSB, Night-Sky Background)



Caméra \sim cylindrique
 $r=1.9\text{m}$, $\phi=2.5\text{m}$, 2500 kg

