



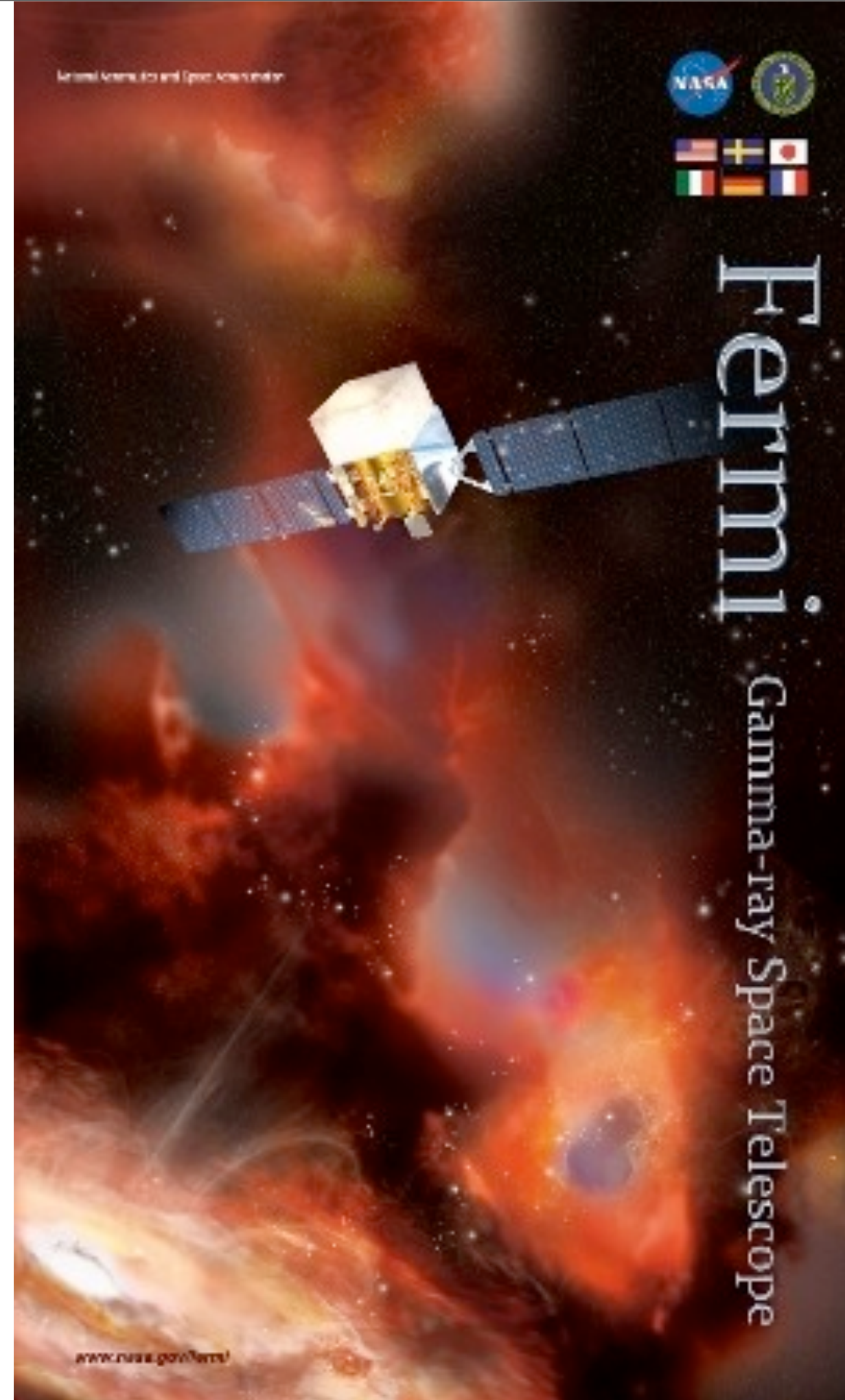
Astronomie gamma avec *Fermi*

Pascal Fortin

LLR / École Polytechnique / CNRS / IN2P3

3 février 2011, LPNHE

Thursday, February 3, 2011



Plan

- *Fermi*
 - Les instruments et modes d'observation
 - Revue de quelques résultats
- La connexion GeV-TeV
- *Fermi* un instrument pour la physique astroparticule
 - UHECRs et neutrinos

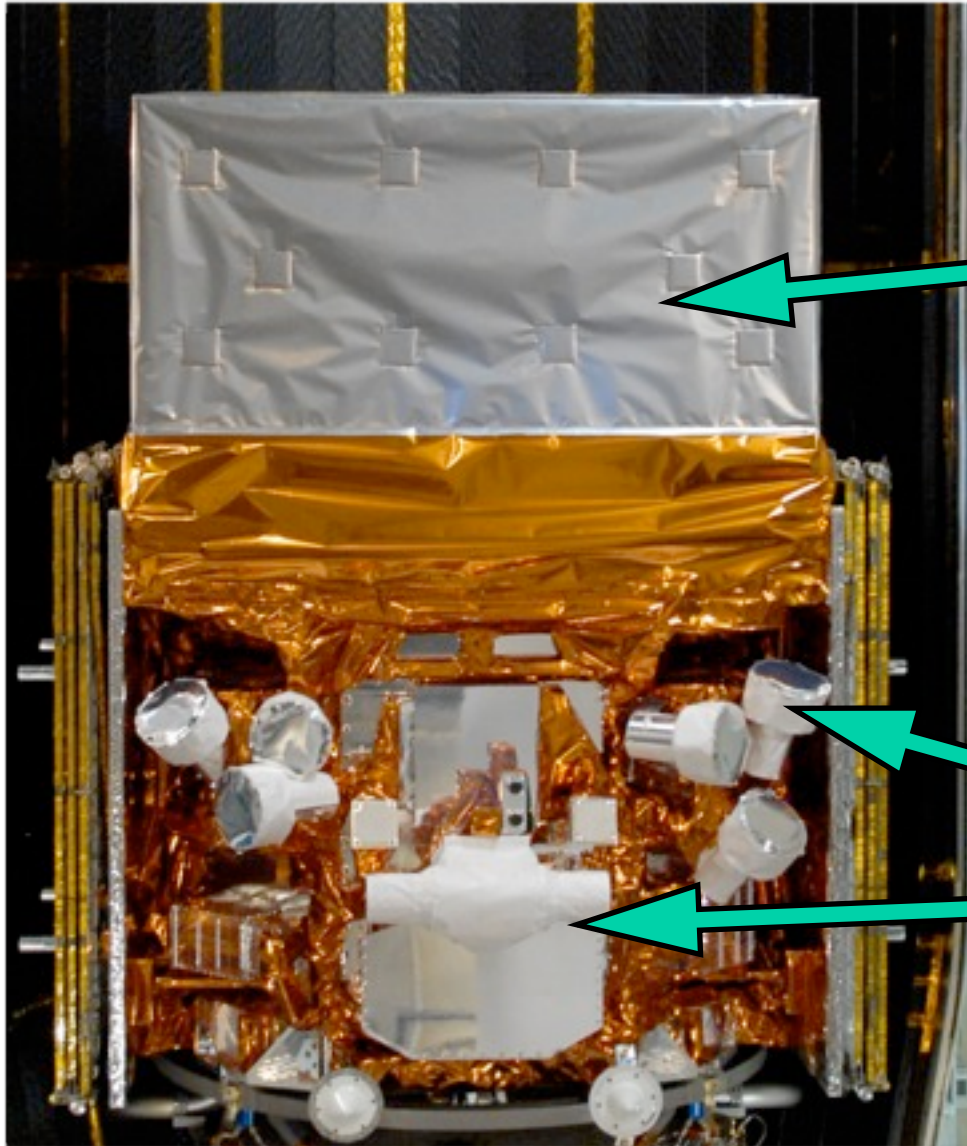
Fermi

Programme scientifique

- Comment les trous noirs super massifs au sein de noyaux actifs de galaxie (AGN) créent-t-ils les jets de particules relativistes? De quoi sont composés les jets?
- Quels sont les mécanismes produisant les sursauts gamma (GRB)?
- Quel est l'origine des rayons cosmiques présents dans notre galaxie*?
- Quelle est l'intensité du fond diffus extragalactique dans notre Univers (EBL) et comment évolue-t-elle en fonction du temps?
- Que sont les sources non-identifiées détectées par EGRET?
- Quel est l'origine de la matière noire?

**Fermi peut-il apporter un élément de réponse à la question des UHECRs?*

Instruments *Fermi*



Large Area Telescope (LAT):

- 20 MeV $\rightarrow$ 300 GeV (incluant la région inexplorée 10 - 100 GeV)
- 2.4 sr FoV (vue complète du ciel en $\sim$ 3 hrs)
- PSF $\sim 0.1^\circ > 10$ GeV

Gamma-ray Burst Monitor (GBM)

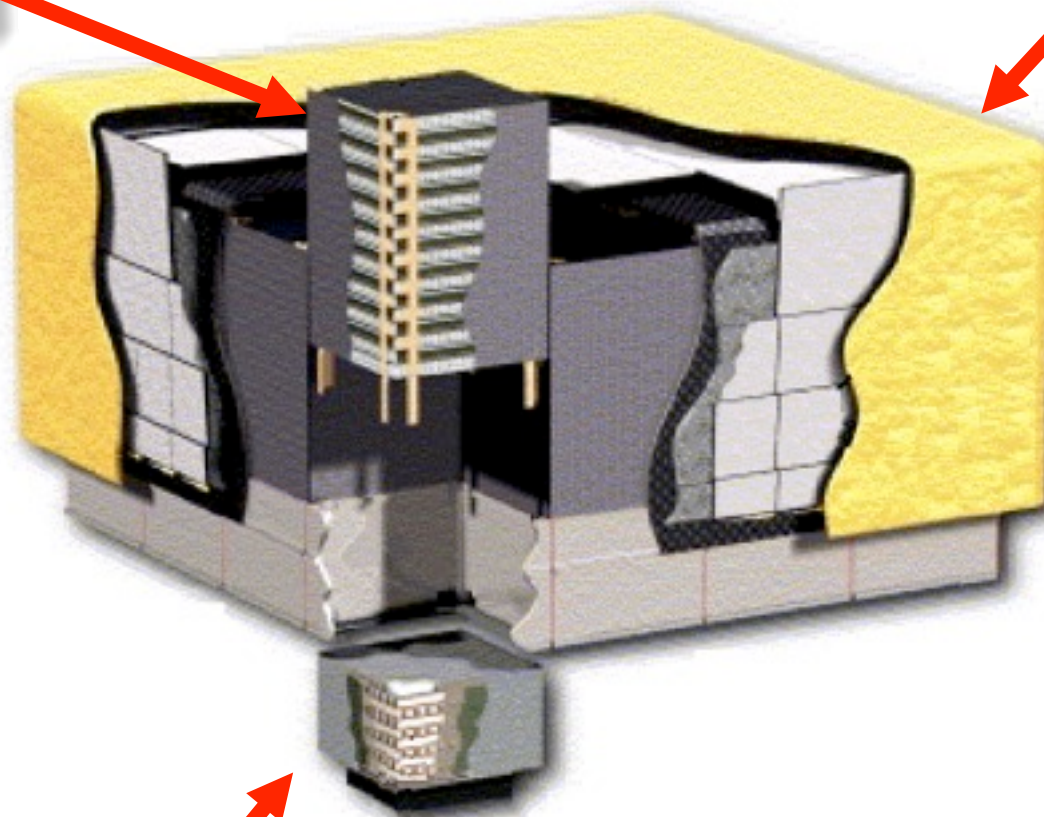
- 8 keV - 40 MeV
- Vue complète du ciel non-occulté

- Représente un progrès considérable comparé aux missions précédentes, transformant ainsi nos connaissances du ciel gamma. Énorme potentiel de découverte.

Le LAT

Si Tracker
pitch = 228 μm
 8.8×10^5 channels
18 planes

ACD
segmented
scintillator tiles



Made in
France

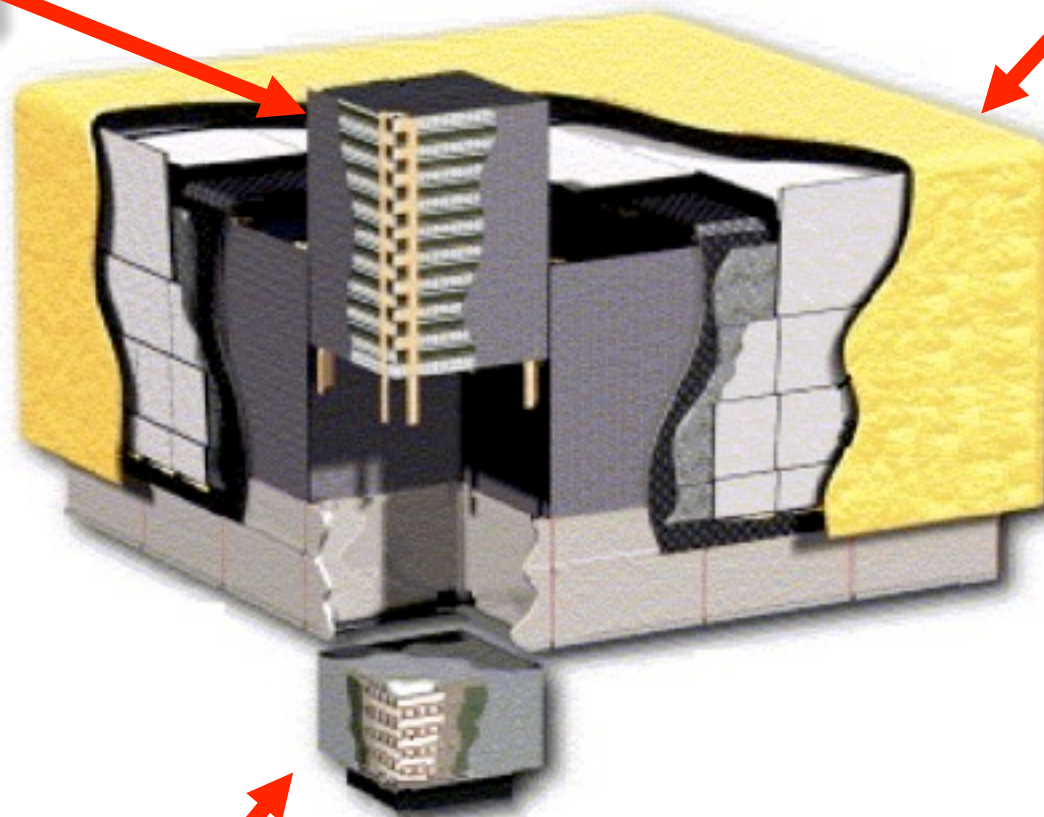
CsI Calorimètre
hodoscopic array (8 layers)
 6.1×10^3 channels

LAT: 4 x 4 structure modulaire
3000 kg, 650 W
20 MeV – 300 GeV

Le LAT

Si Tracker
pitch = 228 μm
 8.8×10^5 channels
18 planes

ACD
segmented
scintillator tiles



Made in
France

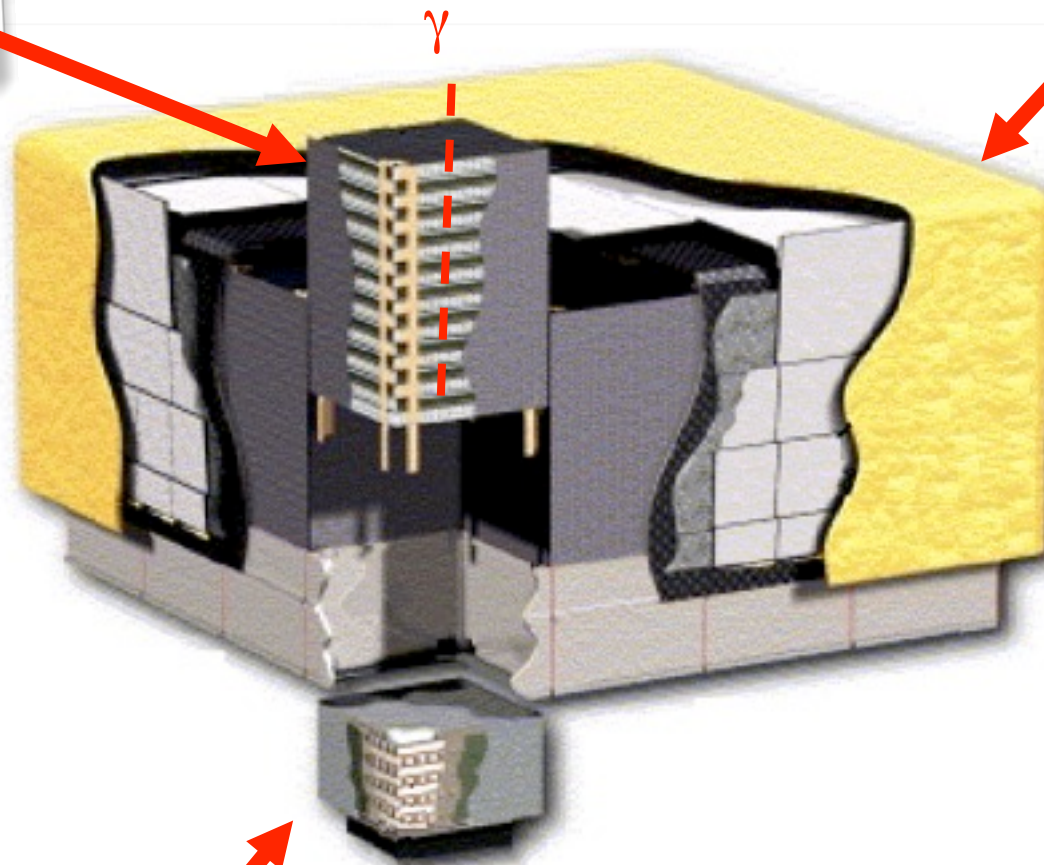
CsI Calorimètre
hodoscopic array (8 layers)
 6.1×10^3 channels

LAT: 4 x 4 structure modulaire
3000 kg, 650 W
20 MeV – 300 GeV

Le LAT

Si Tracker
pitch = 228 μm
 8.8×10^5 channels
18 planes

ACD
segmented
scintillator tiles



Made in
France

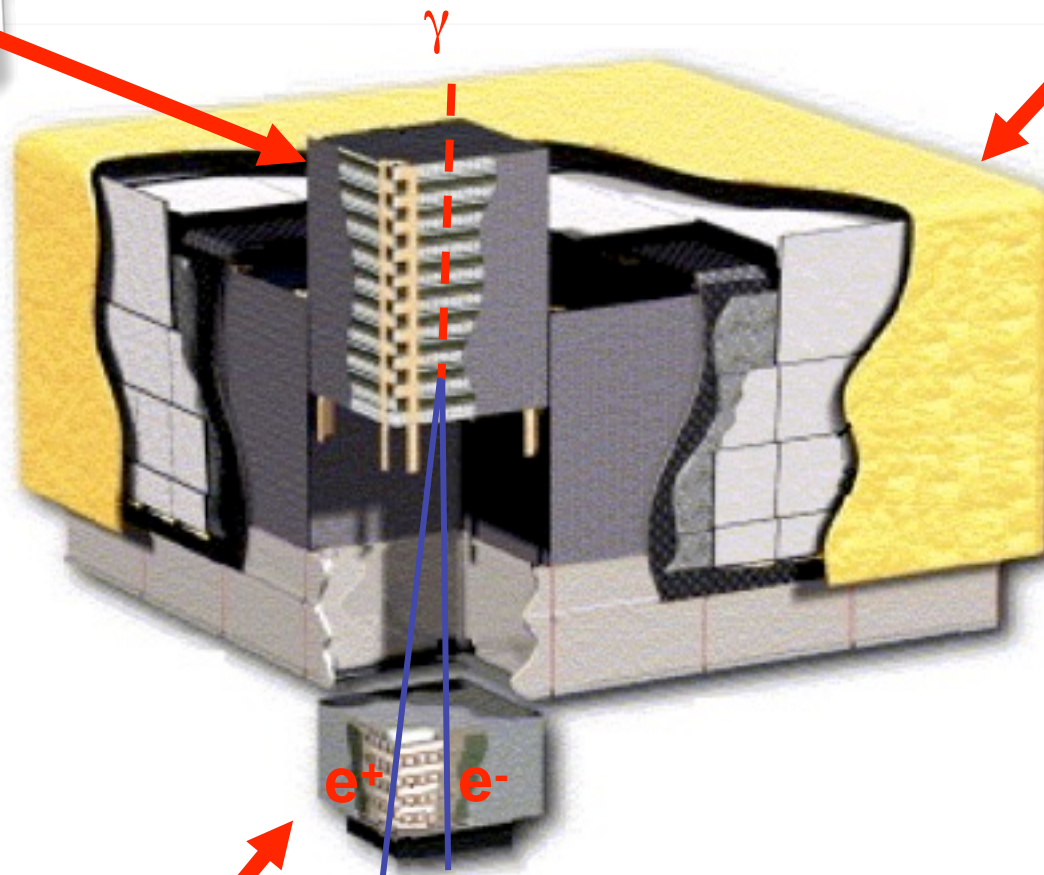
CsI Calorimètre
hodoscopic array (8 layers)
 6.1×10^3 channels

LAT: 4 x 4 structure modulaire
3000 kg, 650 W
20 MeV – 300 GeV

Le LAT

Si Tracker
pitch = 228 μm
 8.8×10^5 channels
18 planes

ACD
segmented
scintillator tiles



Made in
France

CsI Calorimètre
hodoscopic array (8 layers)
 6.1×10^3 channels

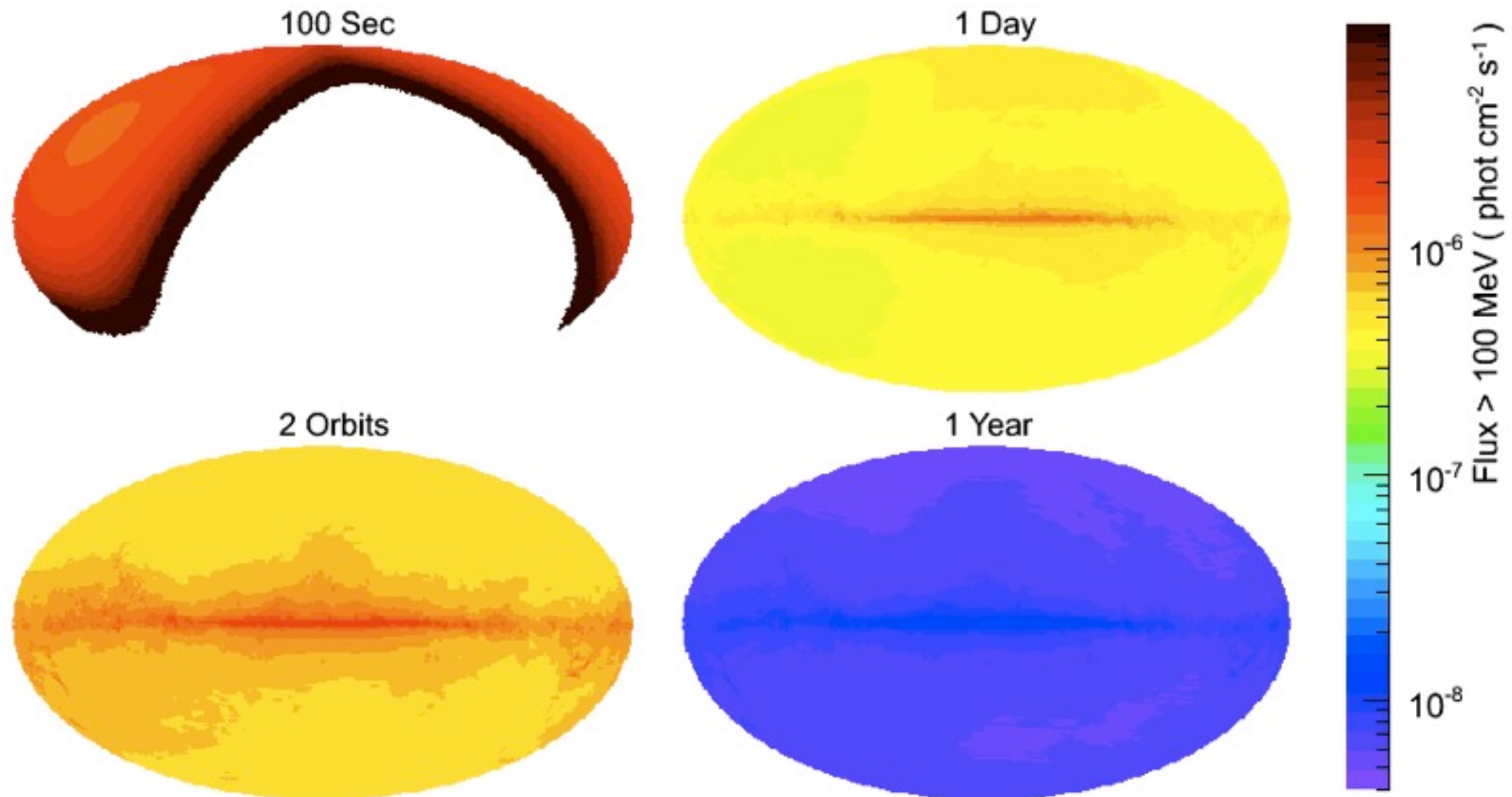
LAT: 4 x 4 structure modulaire
3000 kg, 650 W
20 MeV – 300 GeV

Modes d'observation

- En mode “**survey**”, le LAT observe le ciel entier après deux orbites (~3 hrs), chaque point du ciel reçoit une exposition ~30 minutes pendant cette période. Excellent pour campagne MWL.
- Le LAT peut également faire des observations “**pointées**” de régions particulièrement intéressantes du ciel.
 - Pointé autonomes (~1 / mois) GRB

Sensibilité du LAT pour 4 échelles de temps différentes:

- | | |
|------------------------|----------|
| - 100 s | - 1 jour |
| - 2 orbites (3 heures) | - 1 an |



Collaboration LAT

- **France**
 - CNRS/IN2P3, CEA/Saclay
- **Italie**
 - INFN, ASI, INAF
- **Japon**
 - Hiroshima University
 - ISAS/JAXA
 - RIKEN
 - Tokyo Institute of Technology
- **Suède**
 - Royal Institute of Technology (KTH)
 - Stockholm University
- **États-Unis**
 - Stanford University (SLAC and HEPL/Physics)
 - University of California, Santa Cruz - Santa Cruz Institute for Particle Physics
 - Goddard Space Flight Center
 - Naval Research Laboratory
 - Sonoma State University
 - The Ohio State University
 - University of Washington

PI: Peter Michelson (Stanford)

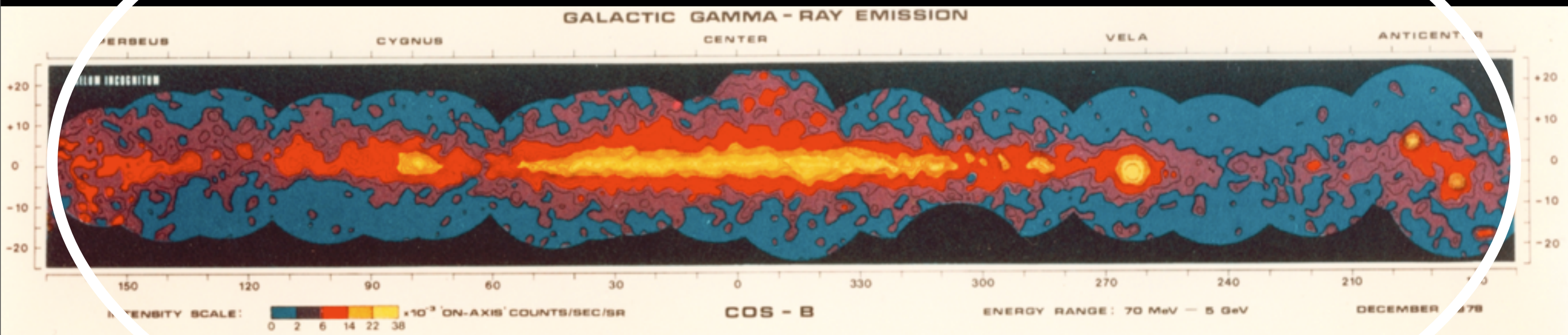
~400 “Scientific Members” (y compris 96 “Affiliated Scientists”, plus 68 Postdocs et 105 doctorants)

Coopération entre la NASA et DOE, avec des contributions majeures internationales de la France, l’Italie, le Japon et la Suède.

Projet géré à SLAC.

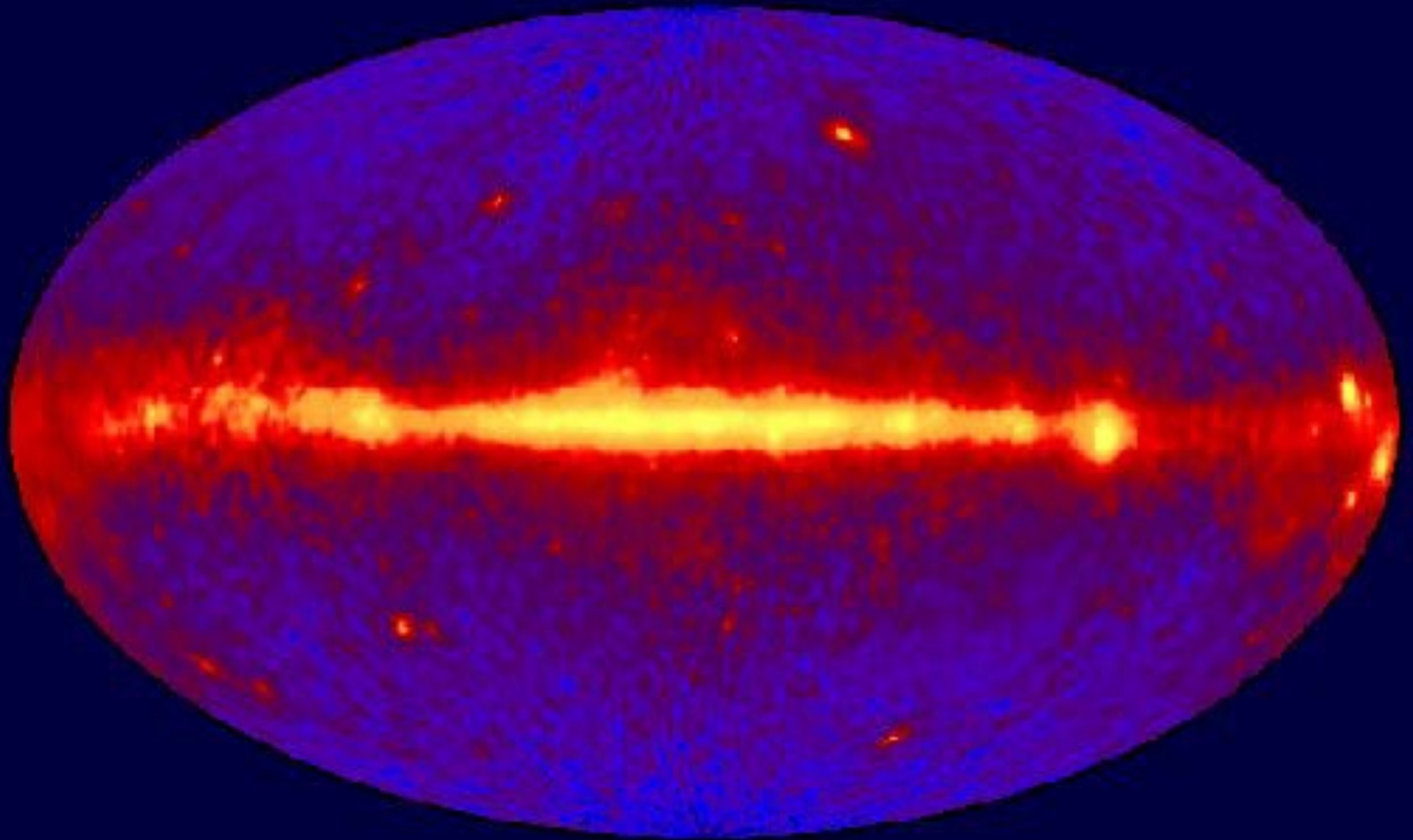
Quelques résultats

Première carte du ciel gamma

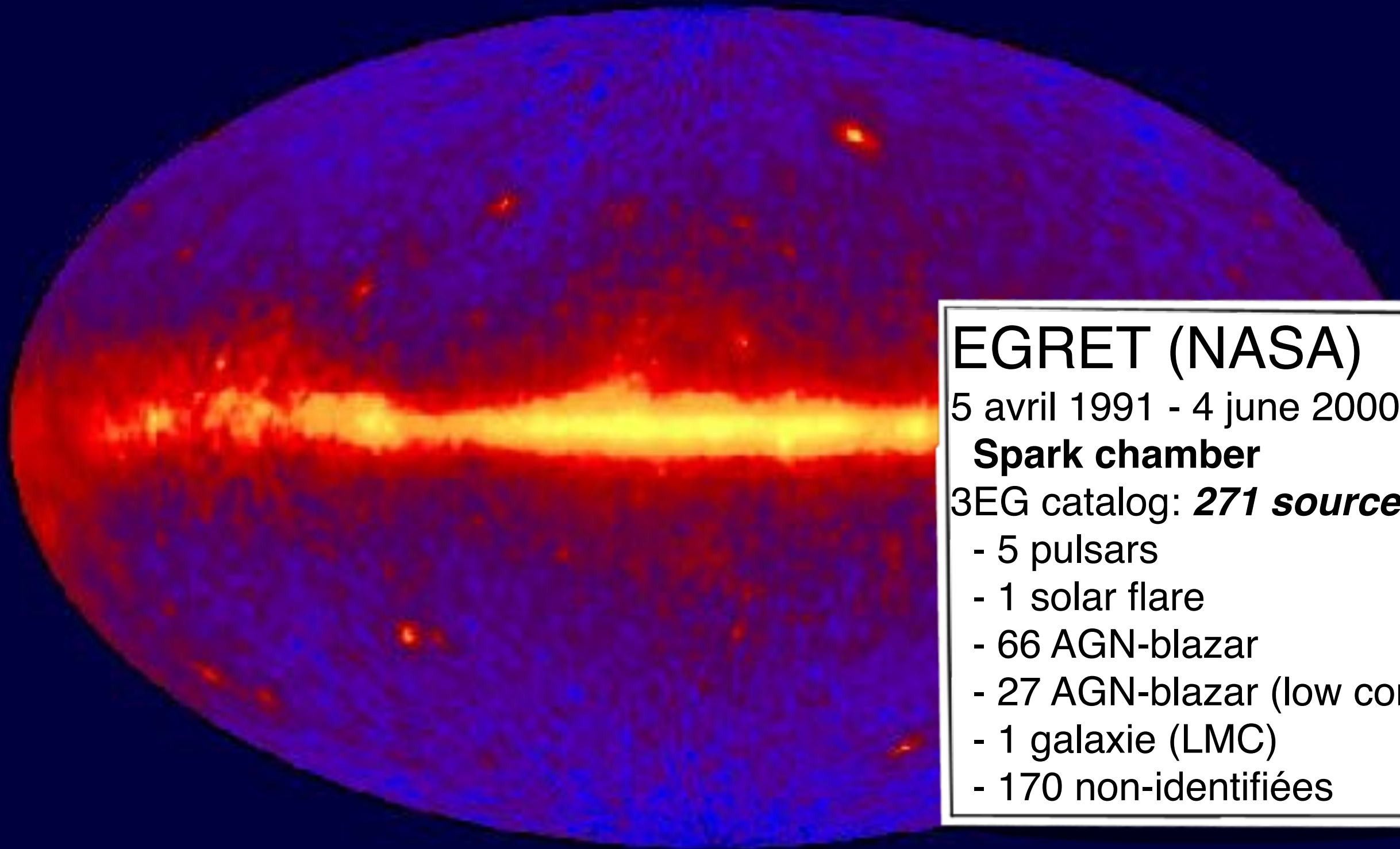


COS-B (ESA Mission)
9 août 1975 - 25 avril 1982
Spark chamber
2CG catalog: **25 sources**

EGRET All-Sky Gamma-Ray Survey Above 100 MeV



EGRET All-Sky Gamma-Ray Survey Above 100 MeV



EGRET (NASA)

5 avril 1991 - 4 june 2000

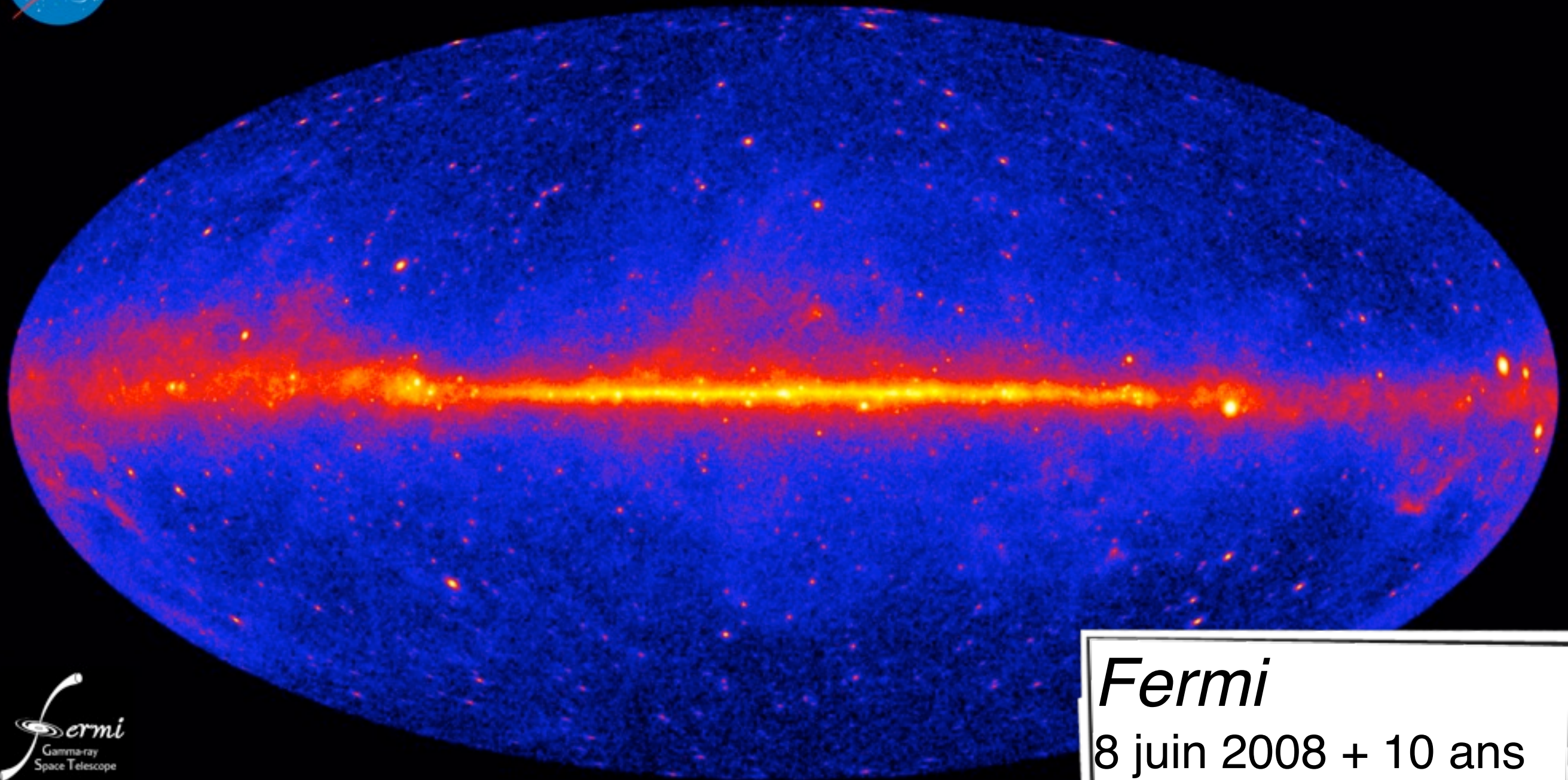
Spark chamber

3EG catalog: **271 sources**

- 5 pulsars
- 1 solar flare
- 66 AGN-blazar
- 27 AGN-blazar (low conf.)
- 1 galaxie (LMC)
- 170 non-identifiées

Le ciel > 1 GeV

Fermi two-year all-sky map



Fermi

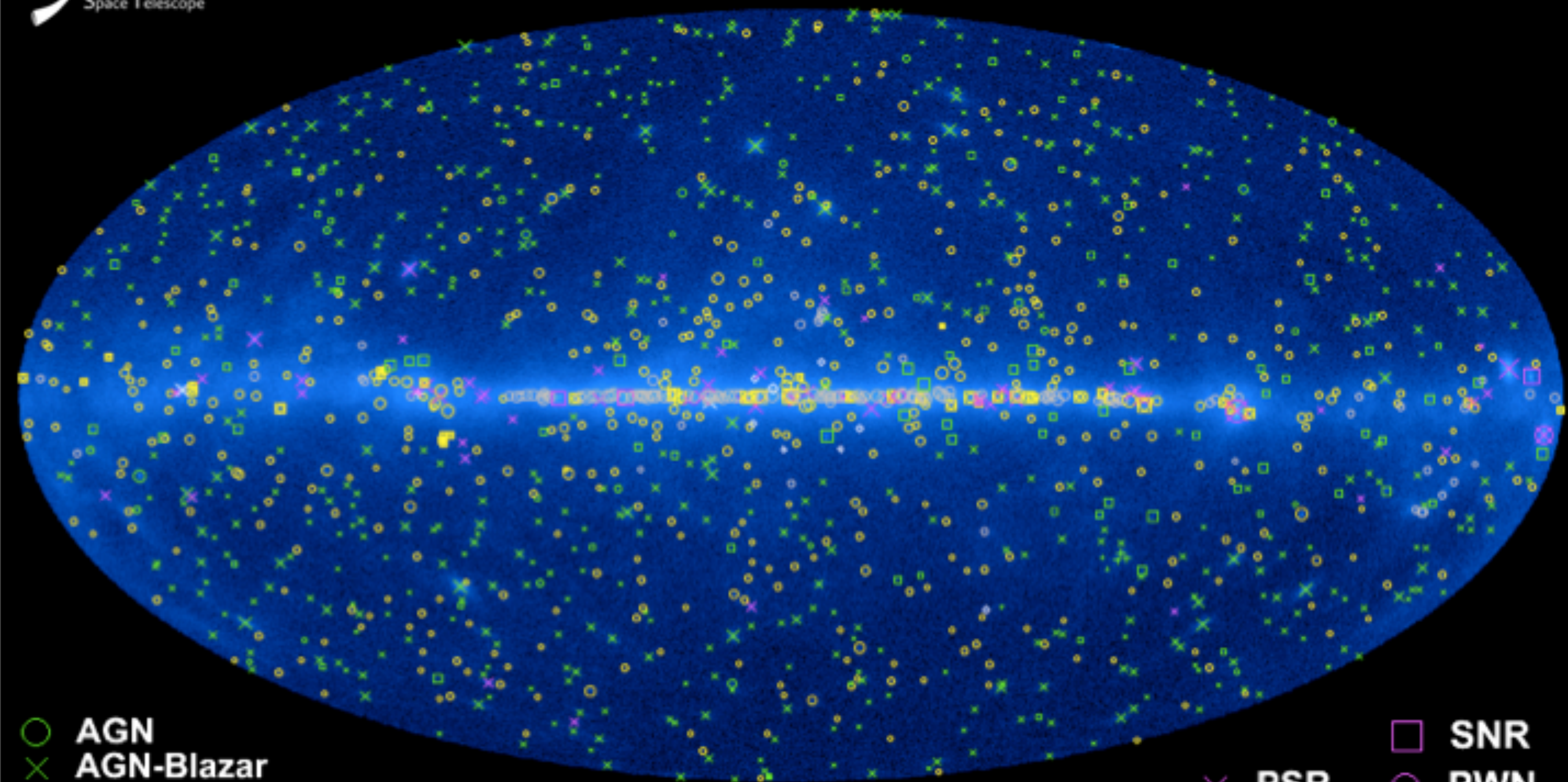
8 juin 2008 + 10 ans

Solid State (silicon)



The Fermi LAT 1FGL Source Catalog

1,451 sources

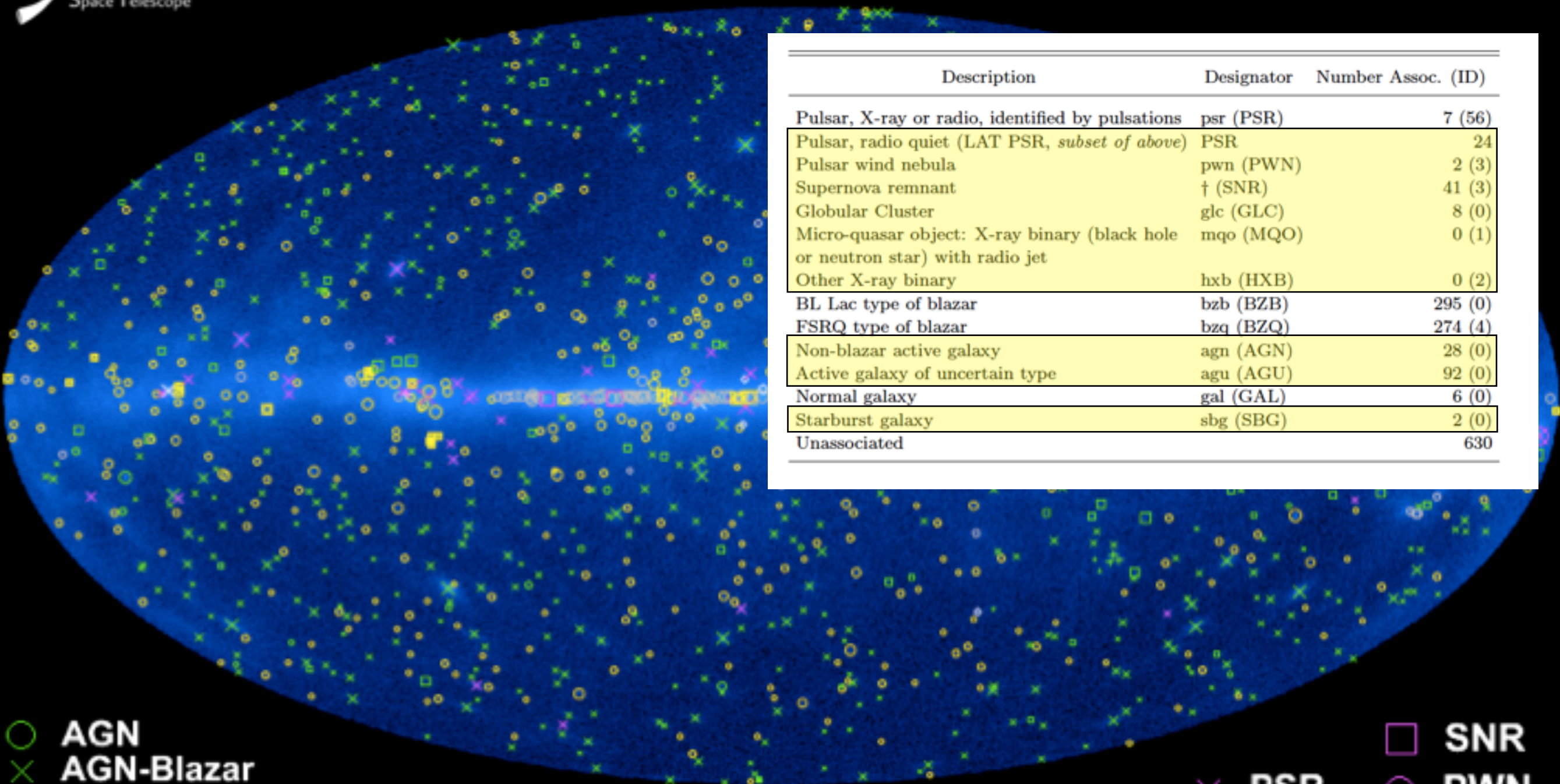


- | | |
|---|--------------------|
| ○ AGN | □ SNR |
| × AGN-Blazar | ○ PWN |
| □ AGN-Non Blazar | × PSR |
| ○ No Association | ⊗ PSR w/PWN |
| □ Possible Association with SNR and PWN | ◇ Globular Cluster |
| ○ Possible confusion with Galactic diffuse emission | × HXB or MQO |
| □ Starburst Galaxy | |
| + Galaxy | |



The Fermi LAT 1FGL Source Catalog

1,451 sources

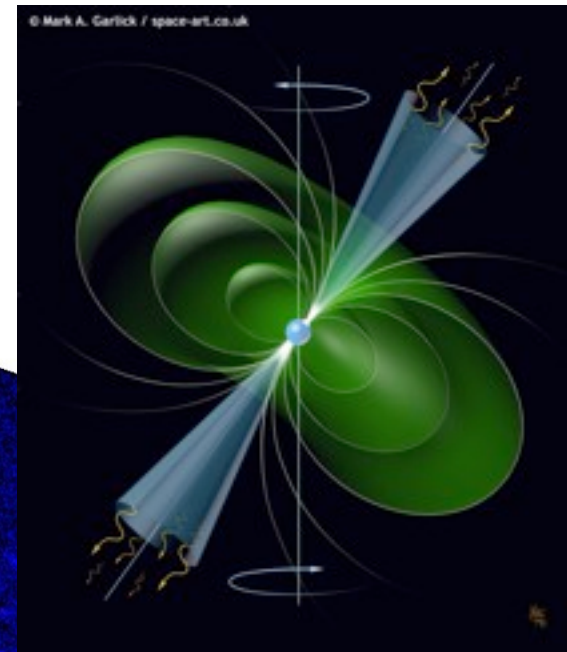


Description	Designator	Number Assoc. (ID)
Pulsar, X-ray or radio, identified by pulsations	psr (PSR)	7 (56)
Pulsar, radio quiet (LAT PSR, <i>subset of above</i>)	PSR	24
Pulsar wind nebula	pwn (PWN)	2 (3)
Supernova remnant	† (SNR)	41 (3)
Globular Cluster	glc (GLC)	8 (0)
Micro-quasar object: X-ray binary (black hole or neutron star) with radio jet	mqq (MQO)	0 (1)
Other X-ray binary	hxb (HXB)	0 (2)
BL Lac type of blazar	bzb (BZB)	295 (0)
FSRQ type of blazar	bzq (BZQ)	274 (4)
Non-blazar active galaxy	agn (AGN)	28 (0)
Active galaxy of uncertain type	agu (AGU)	92 (0)
Normal galaxy	gal (GAL)	6 (0)
Starburst galaxy	sbg (SBG)	2 (0)
Unassociated		630

- AGN
- SNR
- × AGN-Blazar
- PWN
- AGN-Non Blazar
- ⊗ PSR w/PWN
- No Association
- ◇ Globular Cluster
- Possible Association with SNR and PWN
- + Galaxy
- Possible confusion with Galactic diffuse emission
- × HXB or MQO

Sources Galactiques

Les pulsars



25 pulsars gamma découverts
lors d'une recherche en aveugle

19 pulsars gamma
milliseconde

20 pulsars radio **milliseconde**
découverts dans les boîtes
d'erreur de Fermi

CTA 1

Dragonfly

Vela

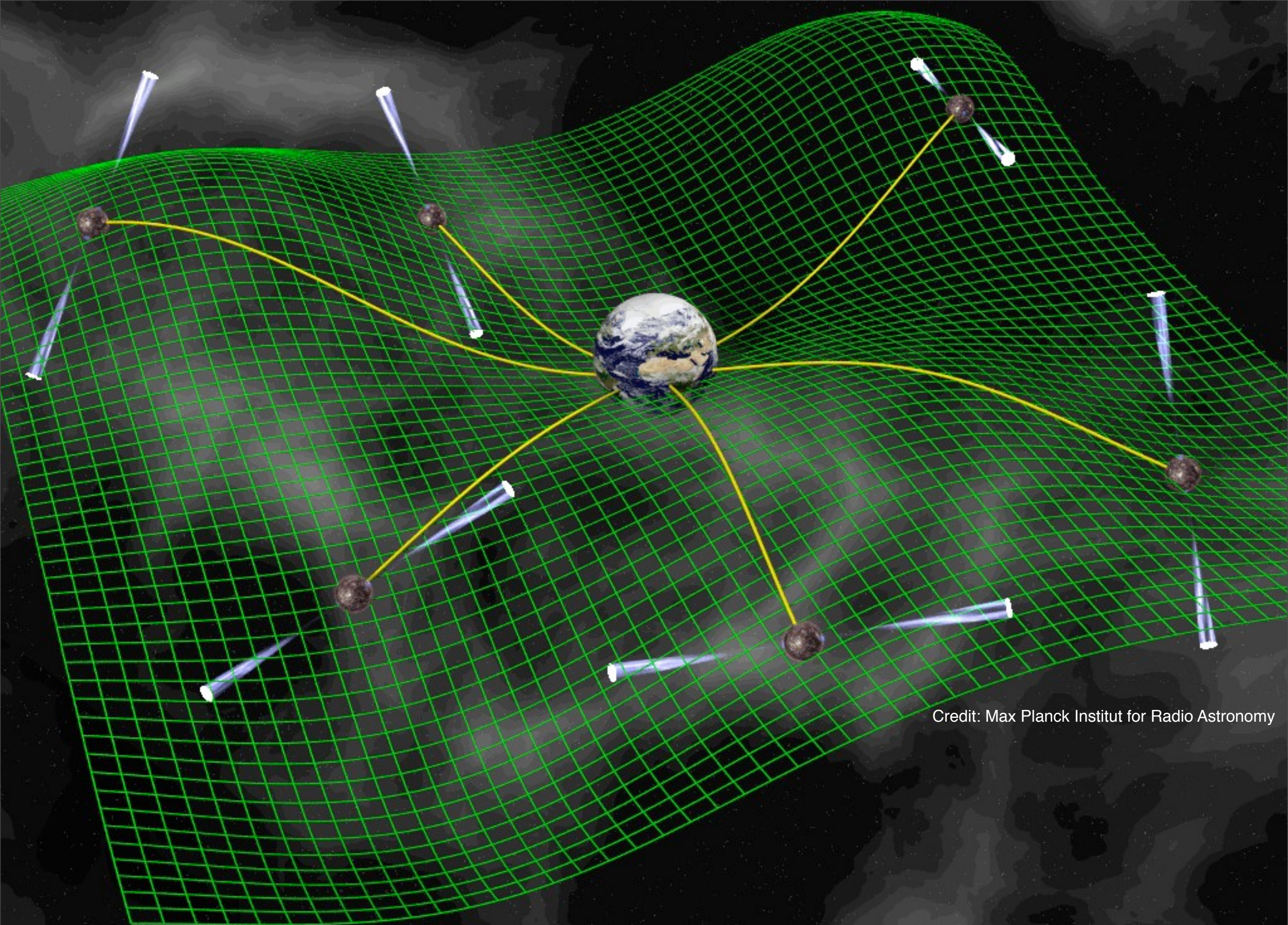
Geminga

Crab

Fermi Pulsar Detections

Maintenant plus de 60 pulsars gamma!

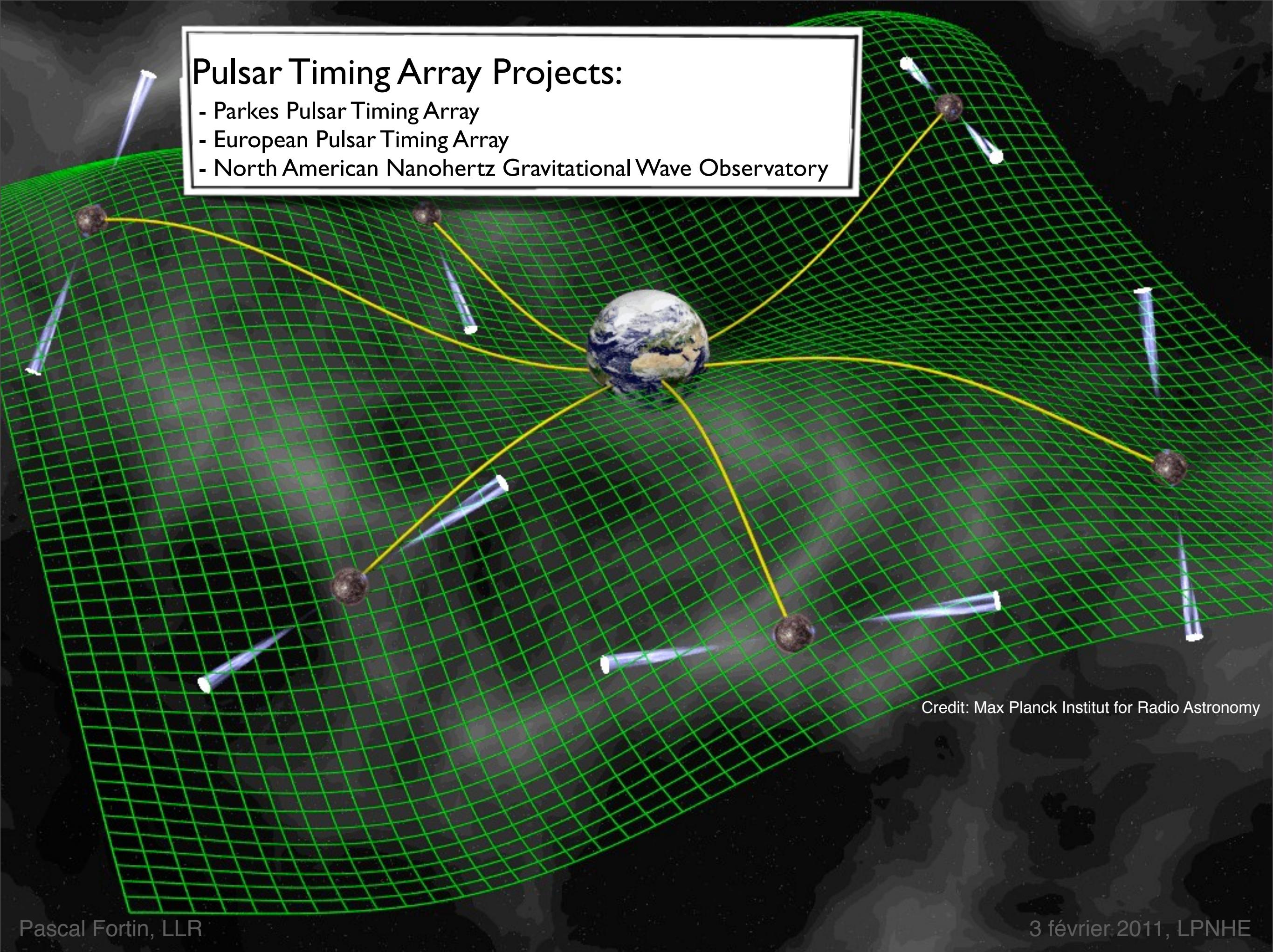
-  New pulsars discovered in a blind search
-  Millisecond radio pulsars
-  Young radio pulsars
-  Pulsars seen by Compton Observatory EGRET instrument



Credit: Max Planck Institut for Radio Astronomy

Pulsar Timing Array Projects:

- Parkes Pulsar Timing Array
- European Pulsar Timing Array
- North American Nanohertz Gravitational Wave Observatory



Credit: Max Planck Institut for Radio Astronomy

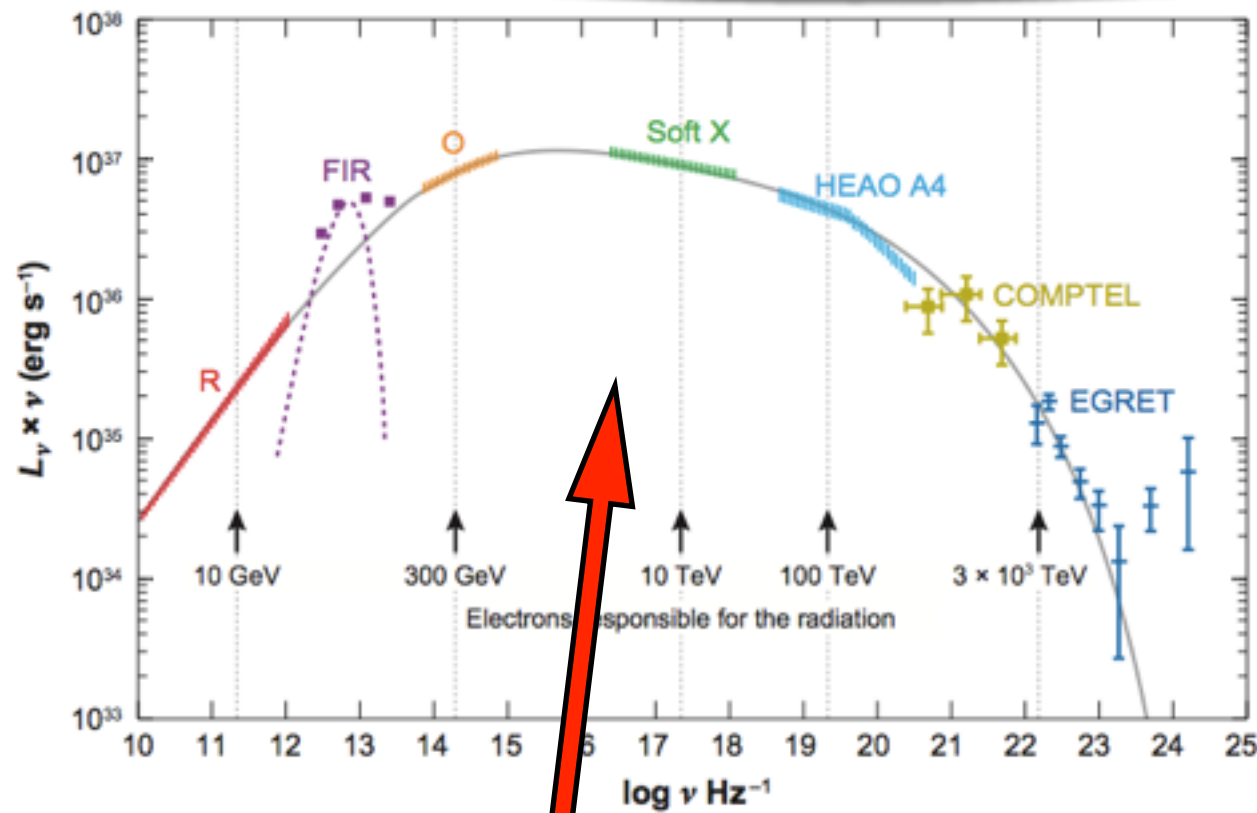
Une chandelle standard?

CRAB NEBULA



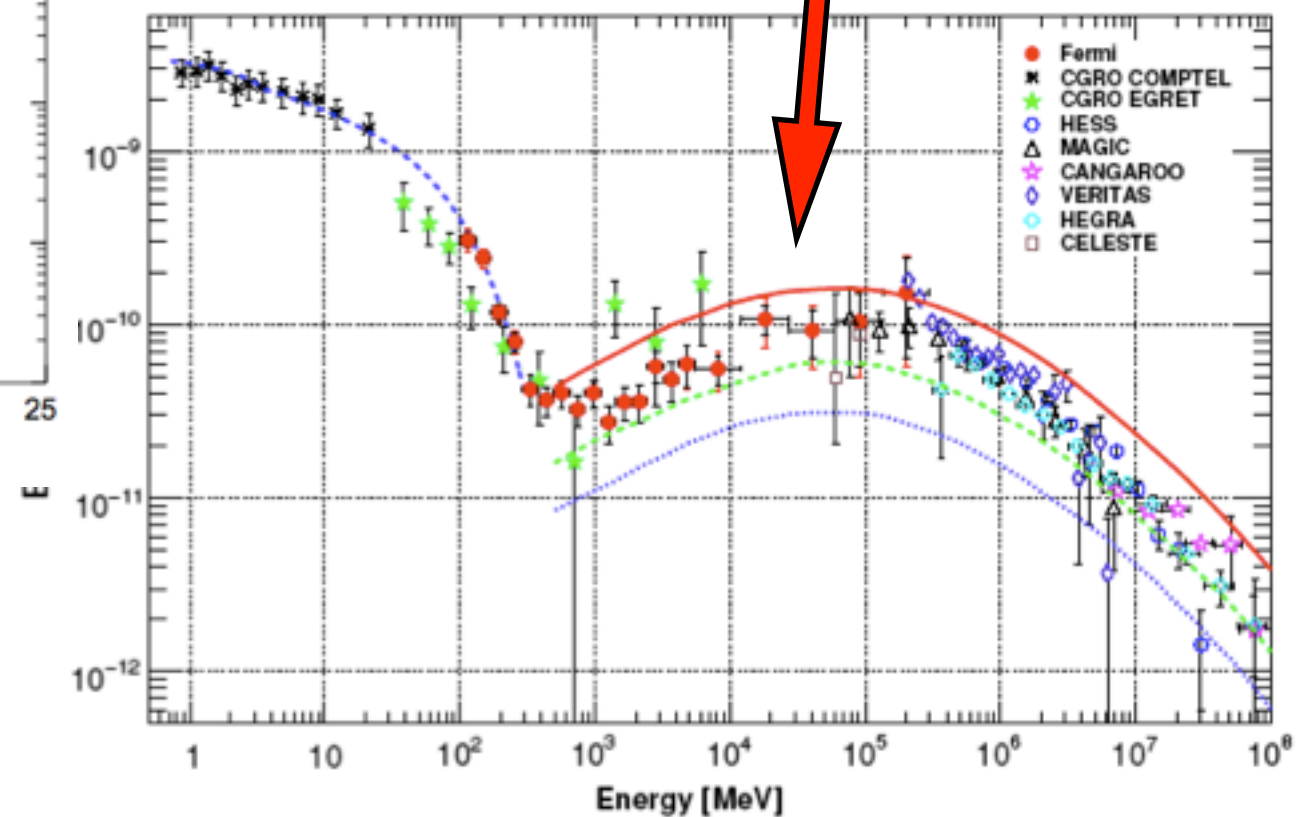
[HTTP://CHANDRA.HARVARD.EDU](http://chandra.harvard.edu)

Le spectre de la nébuleuse du Crabe



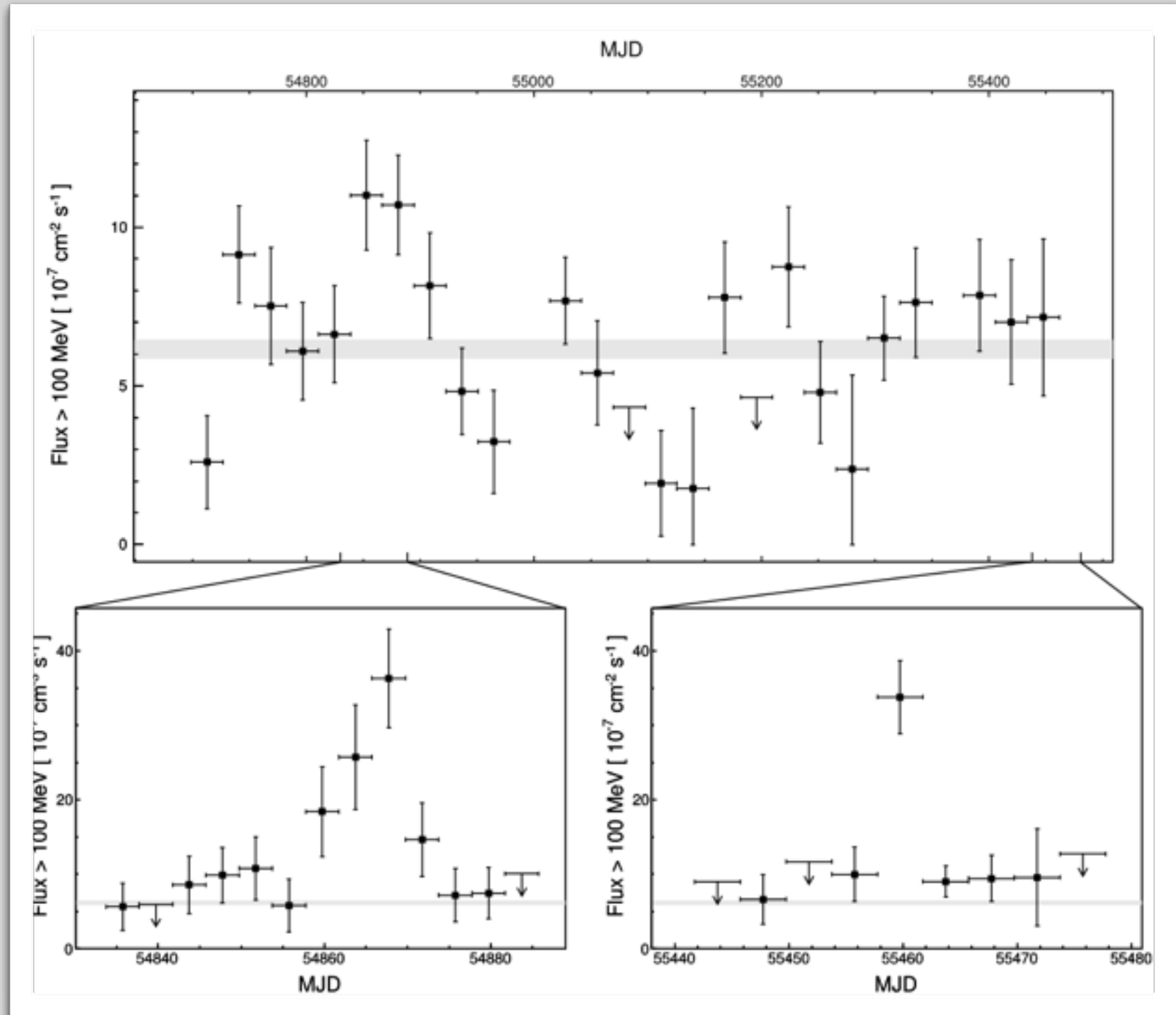
Emission synchrotron
à basse énergie

Emission IC
à haute énergie



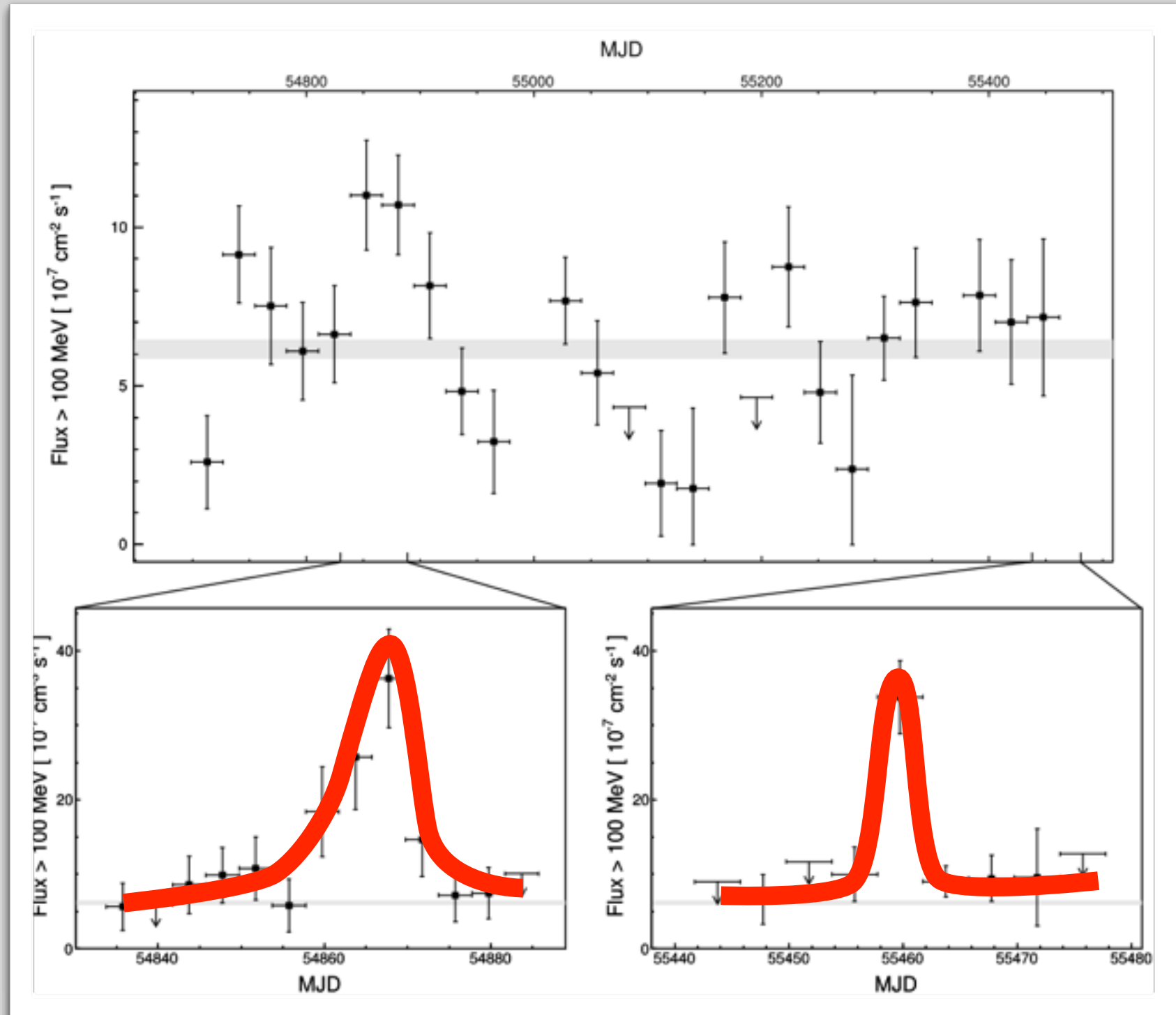
Courbe de lumière

- **Augmentation** du flux d'un facteur **4** et **6** pour les flares de février 2009 et septembre 2010
 - Durée de 16 jours en février 2009
 - Durée de 4 jours en septembre 2010

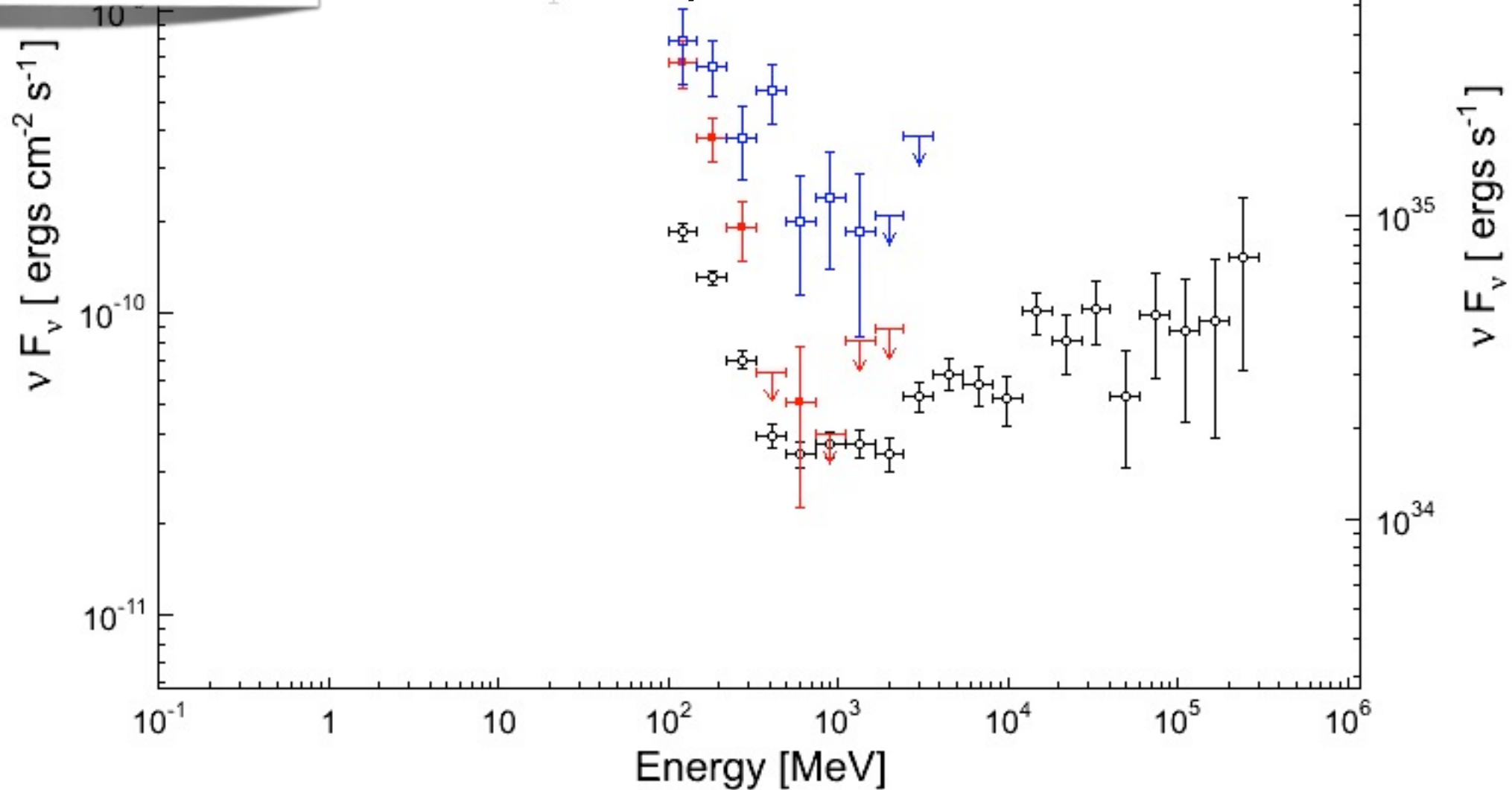
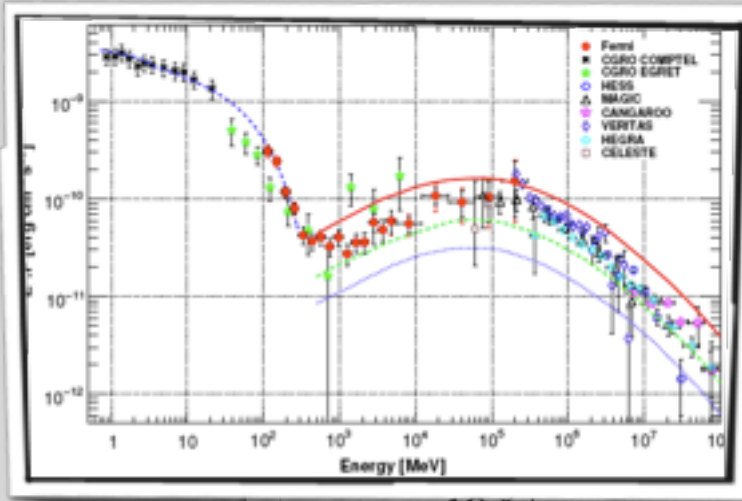


Courbe de lumière

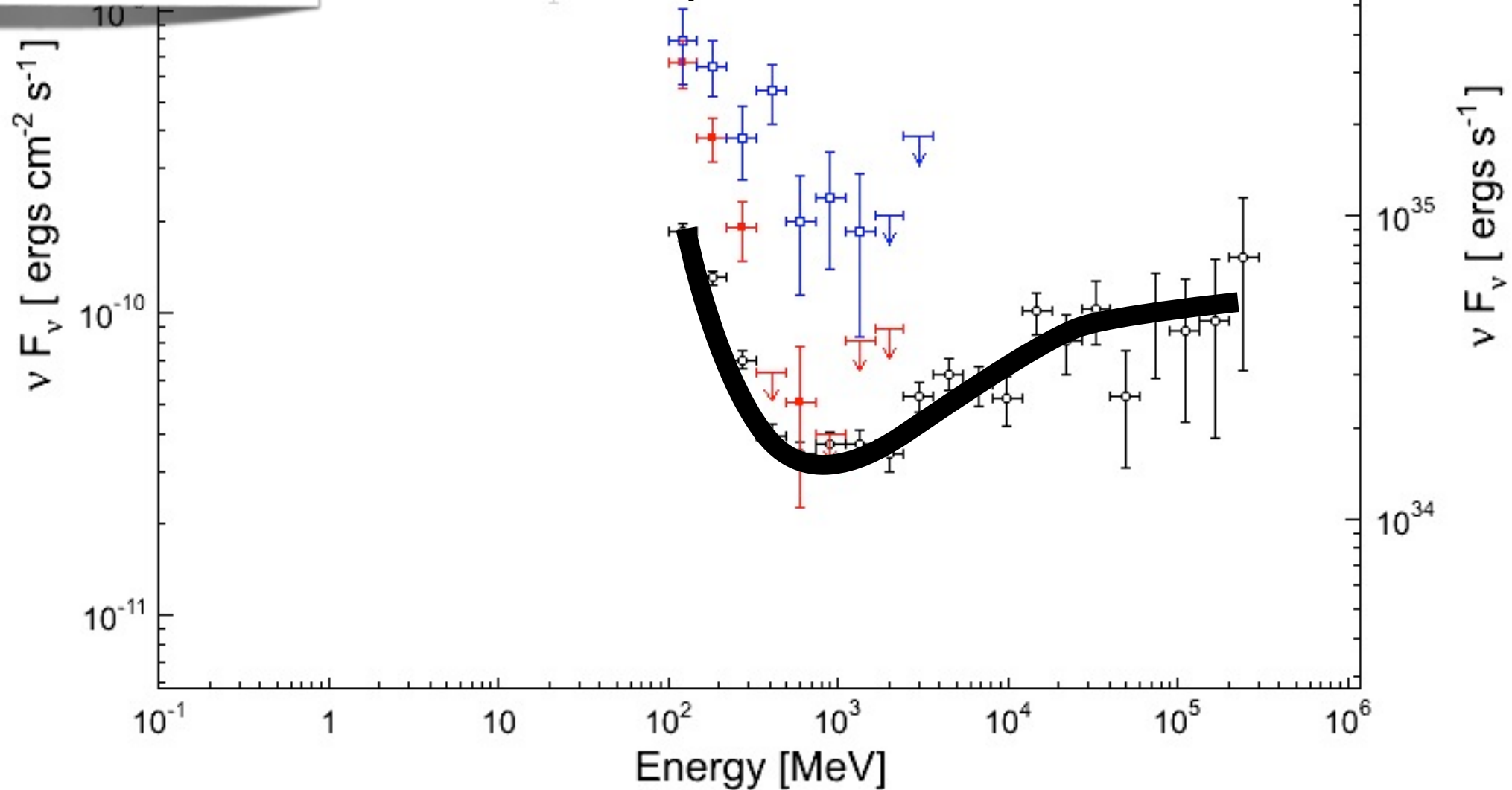
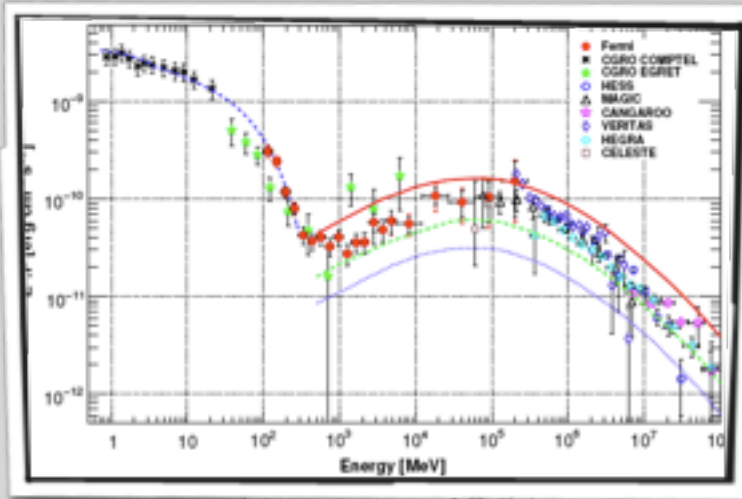
- **Augmentation** du flux d'un facteur **4** et **6** pour les flares de février 2009 et septembre 2010
 - Durée de 16 jours en février 2009
 - Durée de 4 jours en septembre 2010



SED nébuleuse

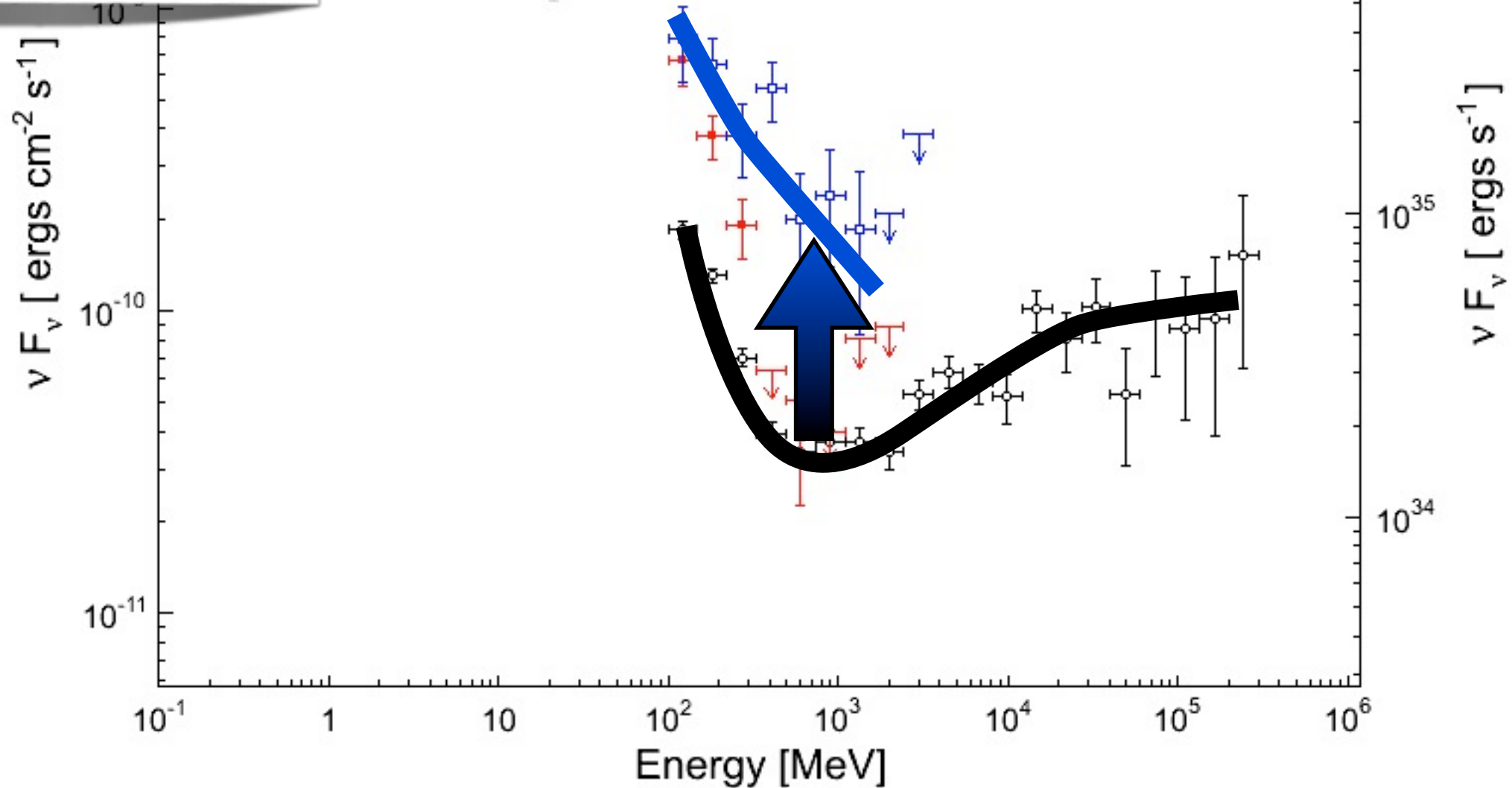
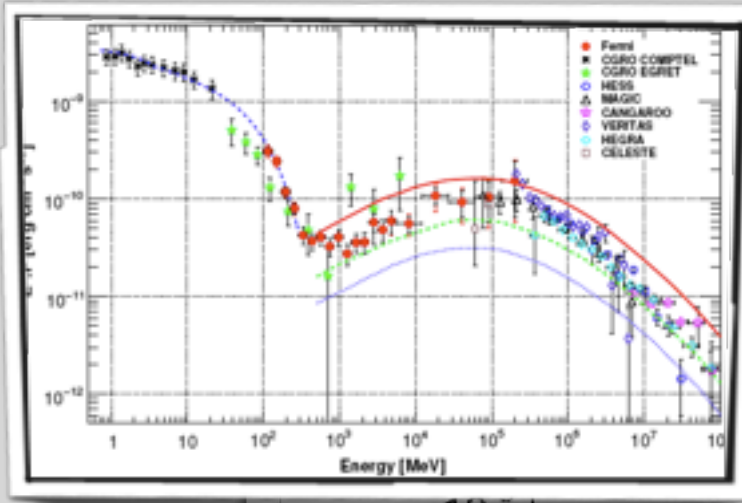


SED nébuleuse



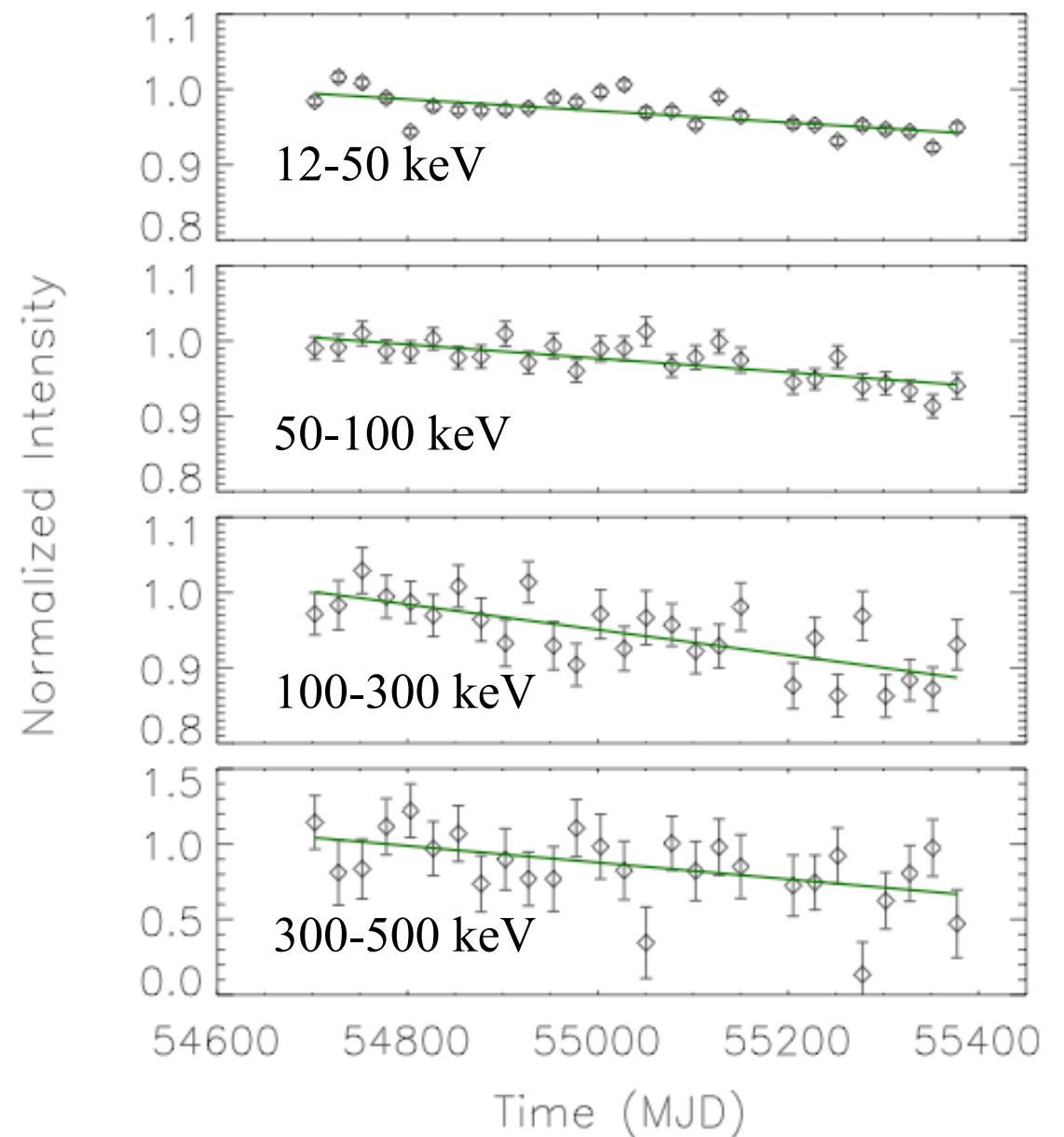
Abdo et al., 2011 *Science* 6 January

SED nébuleuse



Évolution à long terme (GBM)

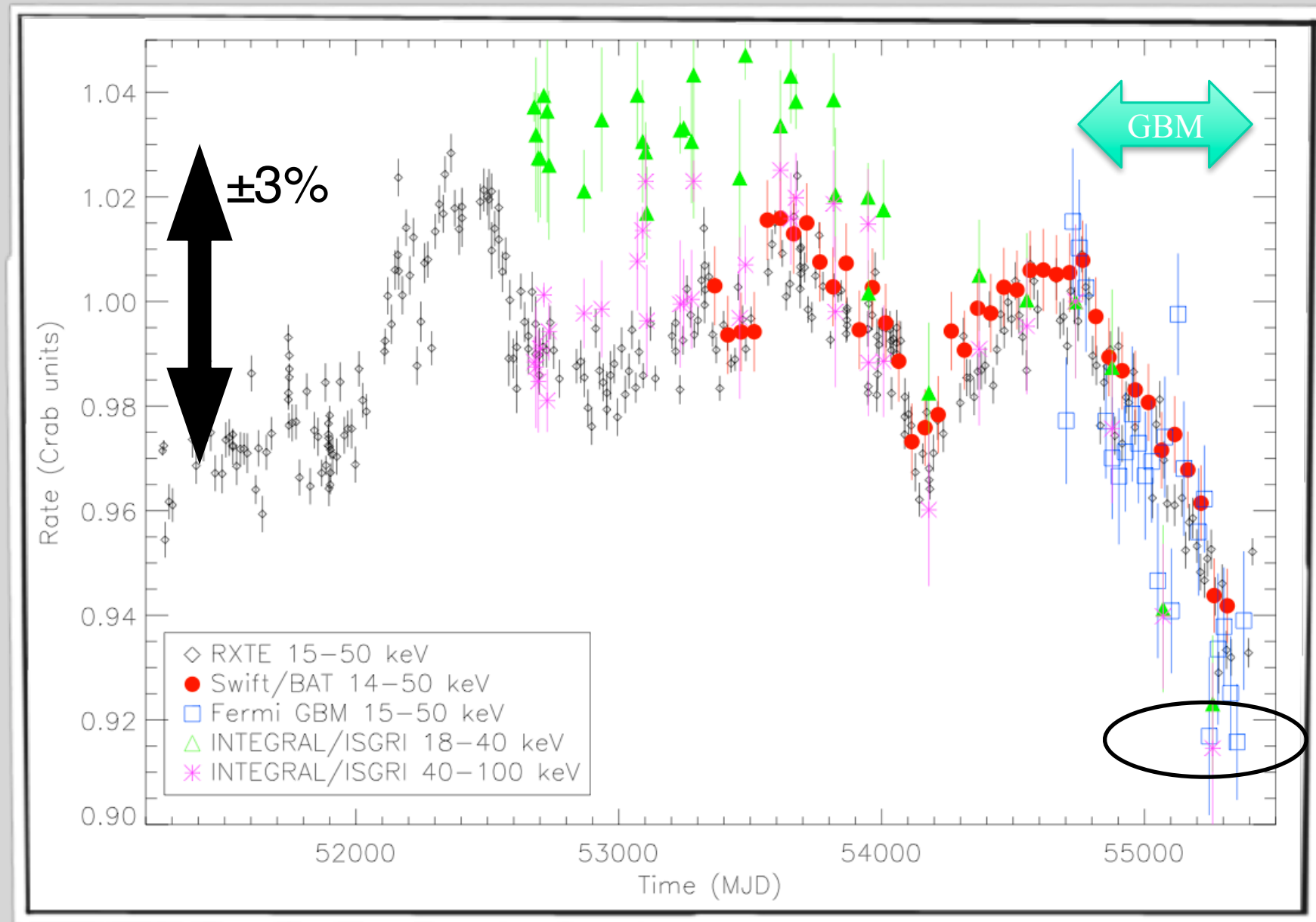
- Moyenne sur 25 jours
- Normalisé sur l'émission à long terme dans chaque bande
- Baisse du flux du Crabe (MJD 54690-55390):
 - $5.4 \pm 0.4\%$ 12-50 keV
 - $6.6 \pm 1.0\%$ 50-100 keV
 - $12 \pm 2\%$ 100-300 keV
 - $39 \pm 12\%$ 300-500 keV
- Déclin est plus important à plus hautes énergies
- Aucun changement dans la réponse ou calibration du GBM



Wilson-Hodge et al., 2011 *ApJ* 727, L40

INTEGRAL, SWIFT, RXTE (x-rays)

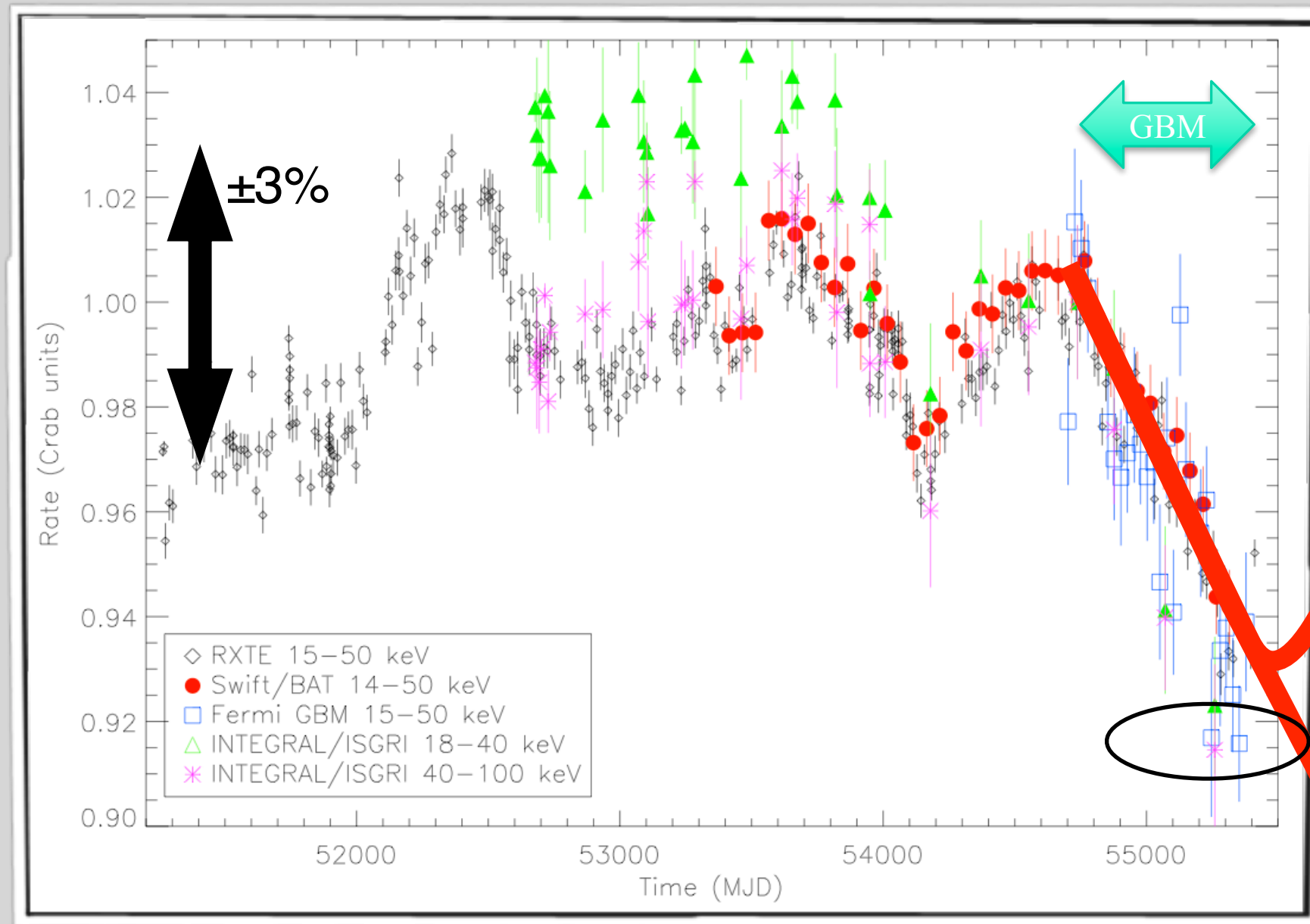
- Chaque courbe de lumière est normalisé au flux moyen observé pour MJD 54690-54790.



- Un déclin de ~7% est observé depuis août 2008 par 4 instruments différents

INTEGRAL, SWIFT, RXTE (x-rays)

- Chaque courbe de lumière est normalisé au flux moyen observé pour MJD 54690-54790.



- Un déclin de ~7% est observé depuis août 2008 par 4 instruments différents

Search for an Enhanced TeV Gamma-Ray Flux from the Crab Nebula with VERITAS

ATel #2968; Rene A. Ong (UCLA) for the VERITAS Collaboration
on 23 Oct 2010; 19:25 UT
Password Certification: Rene Ong (rene@astro.ucla.edu)

Subjects: Gamma Ray, >GeV, TeV, VHE, Neutron Star, Supernova Remnant, Pulsar

Both the AGILE (ATEL #2855) and Fermi-LAT (ATEL #2861) teams have reported an increased >100 MeV gamma-ray flux from a source positionally coincident with the Crab Nebula over the time period from September 19 to September 21, 2010. The ARGO-YBJ air shower detector has reported a gamma-ray excess from the region at the 4 standard deviation level, corresponding to a flux about 3-4 times higher than usual. The ARGO-YBJ result covers the period from September 17 to September 22, at a median energy of about 1 TeV (ATEL #2921).

VERITAS observations of the Crab Nebula in the energy range from 200 GeV to 3 TeV were made on the four nights of September 17, 18, 19, and 20, 2010, totaling 120 minutes. We detect a strong gamma-ray signal corresponding to 40 standard deviations above background. The measured flux level is consistent with VERITAS observations of the Crab Nebula from the previous year (the 2009-2010 observing season). There is no evidence for enhanced emission during the period of time that VERITAS observed the source region; the VERITAS observation times are given in the table below. Statistical errors (one standard deviation) on the average and nightly fluxes above 1 TeV are at the 9% and 20% level, respectively.

No significant enhancement in the VHE gamma-ray flux of the Crab Nebula measured by MAGIC in September 2010

ATel #2967; Mose Mariotti (INFN and Univ. of Padova) on behalf of the MAGIC Collaboration
on 23 Oct 2010; 17:01 UT
Password Certification: Mose Mariotti (mariotti@pd.infn.it)

Subjects: Gamma Ray, TeV, Cosmic Rays, Supernova Remnant

The MAGIC telescopes observed the Crab Nebula in stereoscopic mode during the period of enhanced activity reported by AGILE (ATEL #2855) and Fermi-LAT (ATEL #2861) in September 2010. The observations started at MJD 55459.2070 (September 20th) lasting for 58 minutes. The average flux and spectrum during these observations were compared to a reference Crab Nebula data sample taken between 2009 October to 2010 January. No significant change was detected in flux or spectral shape: the ratio of the differential flux at 1 TeV in the flare sample and the reference sample is $dN/dE(1\text{TeV})_{\text{flare}}/dN/dE(1\text{TeV})_{\text{ref}} = 1.06 \pm 0.15_{\text{stat}} \pm 0.15_{\text{syst}}$; the difference between the photon indices, fitting data with energies between 1 and 10 TeV, is $\alpha_{\text{ref}} - \alpha_{\text{flare}} = 0.06 \pm 0.14_{\text{stat}} \pm 0.15_{\text{syst}}$. Within statistical errors, these findings do not support the evidence of an increase in the flux of the Crab Nebula at very high energies by a factor 3 to 4 as reported by ARGO-YBJ (ATEL #2921), if this increase was steady. MAGIC consists of two 17m diameter imaging air Cherenkov telescopes located on La Palma, Canary Islands, Spain. Questions regarding the MAGIC observations should be directed to Mose Mariotti (mose.mariotti@pd.infn.it).

- Le flare de septembre 2010 était pendant la pleine lune:
→ pas d'observations Tcherenkov
- Quelques jours plus tard: MAGIC et VERITAS détectent un flux normal
- À suivre...

Sources Extragalactiques (AGN)

Plus de la moitié des sources détectées par le LAT sont associées à des noyaux actifs de galaxie (AGN)

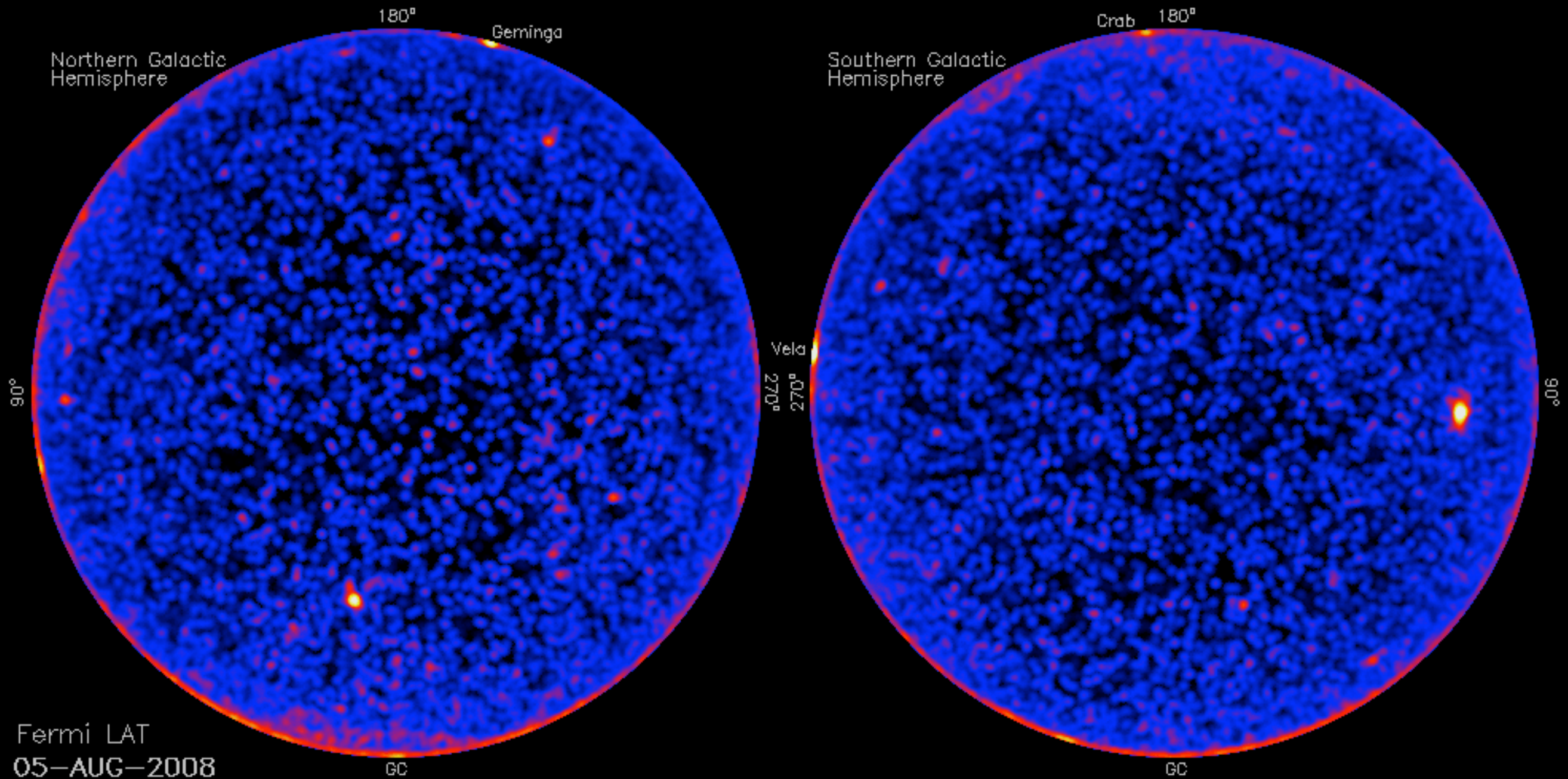
Comment les trous noirs super massifs au sein de noyaux actifs de galaxie (AGN) créent-ils les jets de particules relativistes?

Quels types de particules composent les jets?

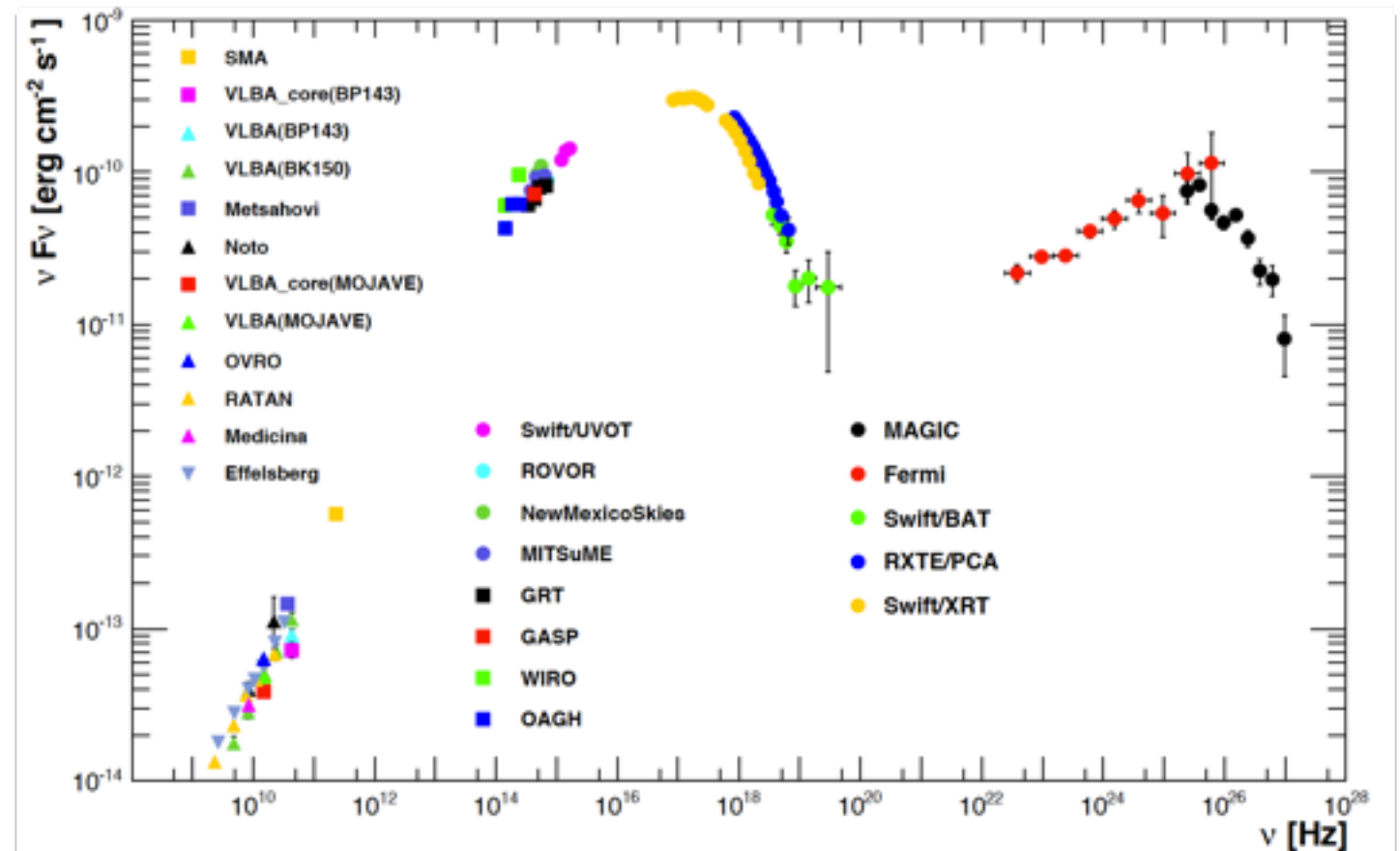
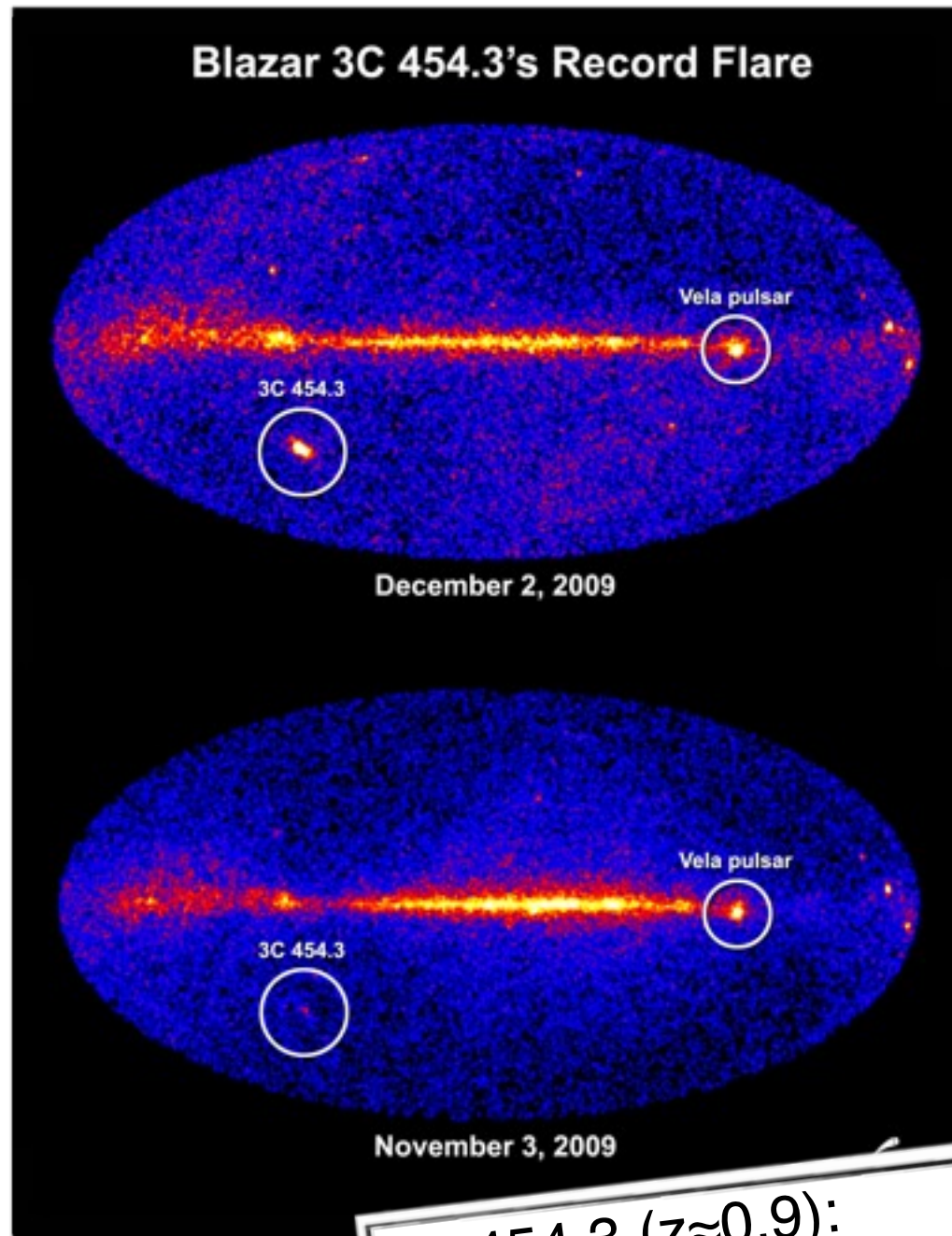
- Leptons ou hadrons?



La variabilité du ciel au GeV



AGN



3C 454.3 ($z \approx 0.9$):

- Le dernier flare du 18 novembre 2010 fait de cet AGN le plus lumineux jamais observé.

Mrk 421:

- Campagne multi-longueur d'onde la plus complète jamais réalisée (>20 télescopes -- radio $\rightarrow$ TeV)

Les blazars au TeV vu par *Fermi*

Groupe astro au LLR

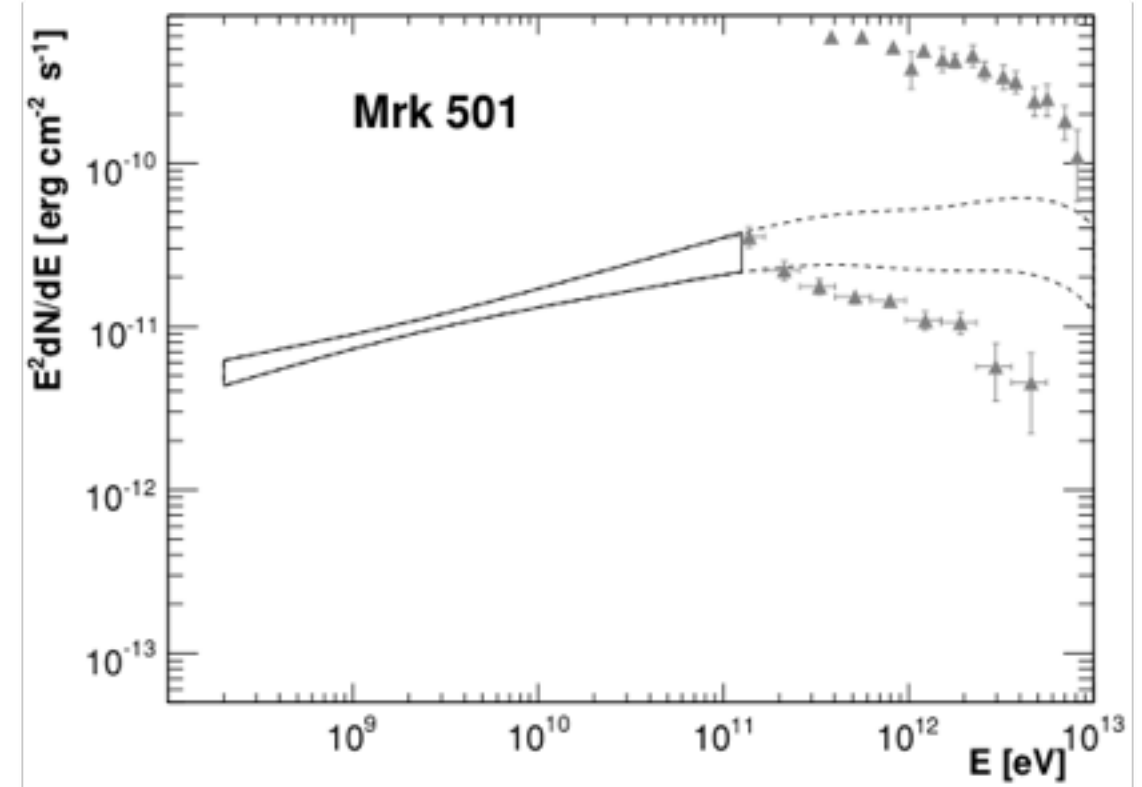
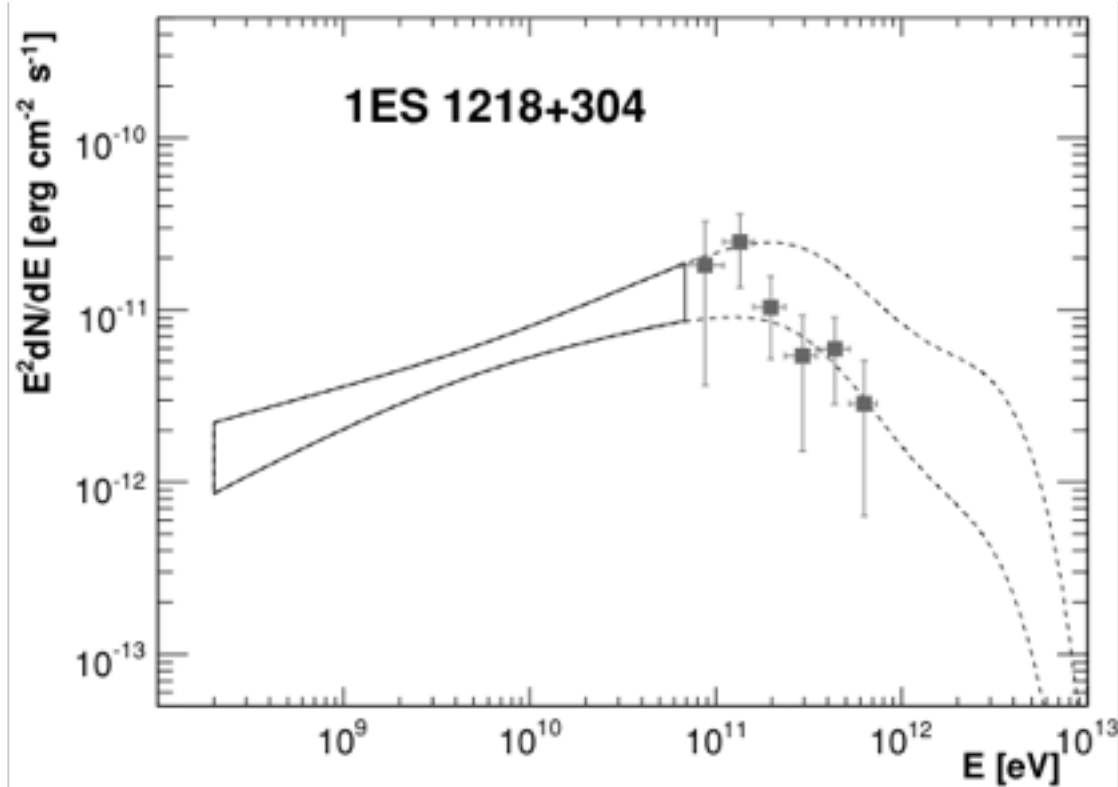
THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 707:1310–1333, 2009 December 20

© 2009. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

doi:[10.1088/0004-637X/707/2/1310](https://doi.org/10.1088/0004-637X/707/2/1310)

FERMI OBSERVATIONS OF TeV-SELECTED ACTIVE GALACTIC NUCLEI

A. A. ABDO^{1,2}, M. ACKERMANN³, M. AJELLO³, W. B. ATWOOD⁴, M. AXELSSON^{5,6}, L. BALDINI⁷, J. BALLEST⁸, G. BARBIELLINI^{9,10},
M. G. BARING¹¹, D. BASTIERI^{12,13}, K. BECHTOL³, R. BELLAZZINI⁷, B. BERENJI³, E. D. BLOOM³, E. BONAMENTE^{14,15},
A. W. BORGLAND³, J. BREGEON⁷, A. BREZ⁷, M. BRIGIDA^{16,17}, P. BRUEL¹⁸, T. H. BURNETT¹⁹, G. A. CALIANDRO^{16,17}



La connexion GeV - TeV



Fermi, un nouvel outil pour le TeV

sauf pour le plan
galactique !!!

- **Le ciel TeV est encore largement inexploré**
- Les télescopes Tcherenkov ont un petit FoV ($\sim 4^\circ$),
ils doivent savoir où et quand regarder!!!
- Les observations radio ne sont pas encore uniformes (Nord / Sud), limitant l'utilité de la méthode νF_{radio} vs νF_{x-ray} utilisée par le passé pour identifier les HBL
- La couverture spectrale de *Fermi* recouvre partiellement celle des télescopes Tcherenkov
- Extrapolation au-dessus de ~ 100 GeV sont très utiles
- Un plus grand nombre de sources au TeV est nécessaire pour mieux comprendre l'EBL, la séquence blazar, etc

sauf pour le plan galactique !!!

-

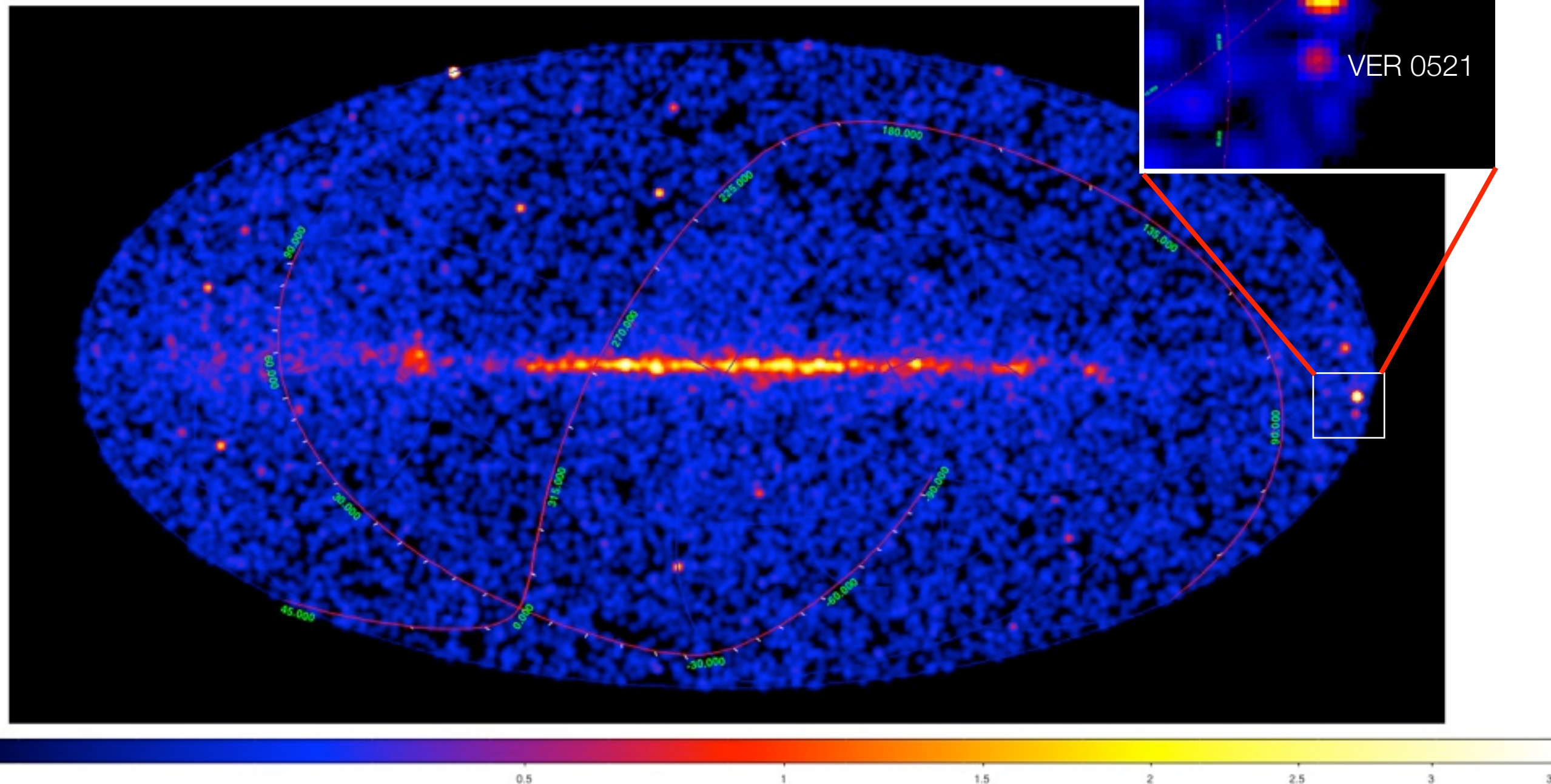
Savoir pour mieux

Fermi, un nouvel outil pour le TeV

sauf pour le plan
galactique !!!

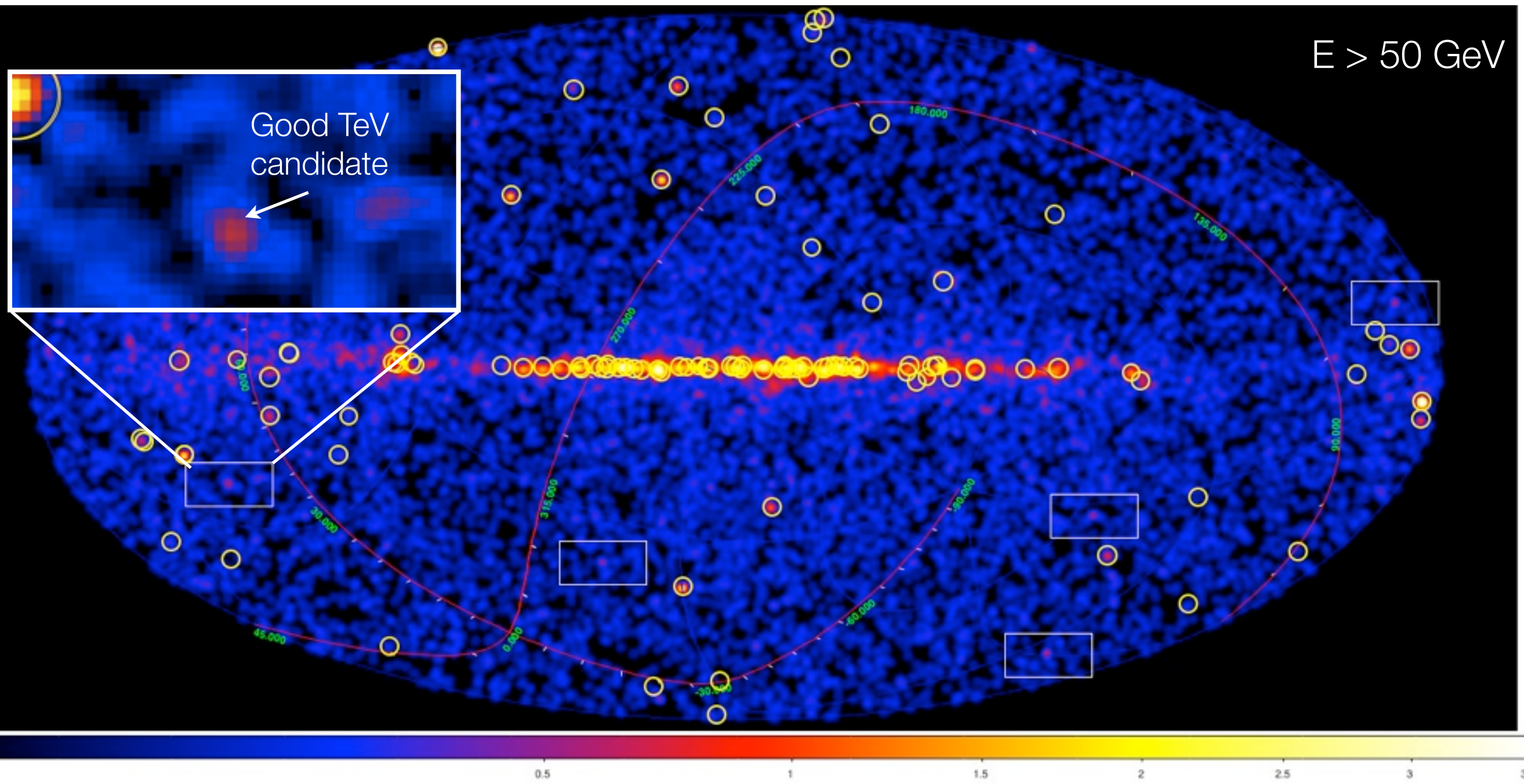
- **Le ciel TeV est encore largement inexploré**
- Les télescopes Tcherenkov ont un petit FoV ($\sim 4^\circ$),
ils doivent savoir où et quand regarder!!!
- Les observations radio ne sont pas encore uniformes (Nord / Sud), limitant l'utilité de la méthode νF_{radio} vs νF_{x-ray} utilisée par le passé pour identifier les HBL
- La couverture spectrale de *Fermi* recouvre partiellement celle des télescopes Tcherenkov
- Extrapolation au-dessus de ~ 100 GeV sont très utiles
- Un plus grand nombre de sources au TeV est nécessaire pour mieux comprendre l'EBL, la séquence blazar, etc

Comment trouver des candidats TeV?



26 mois de données > 50 GeV

Où sont les sources déjà connues?

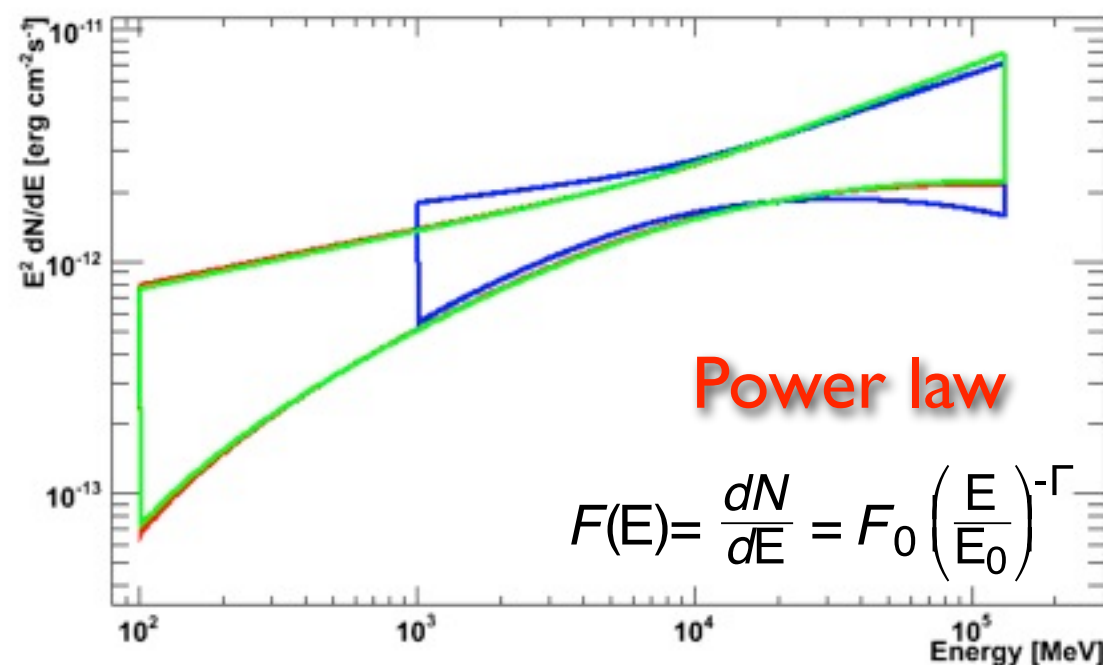


Comment trouver des candidats TeV?

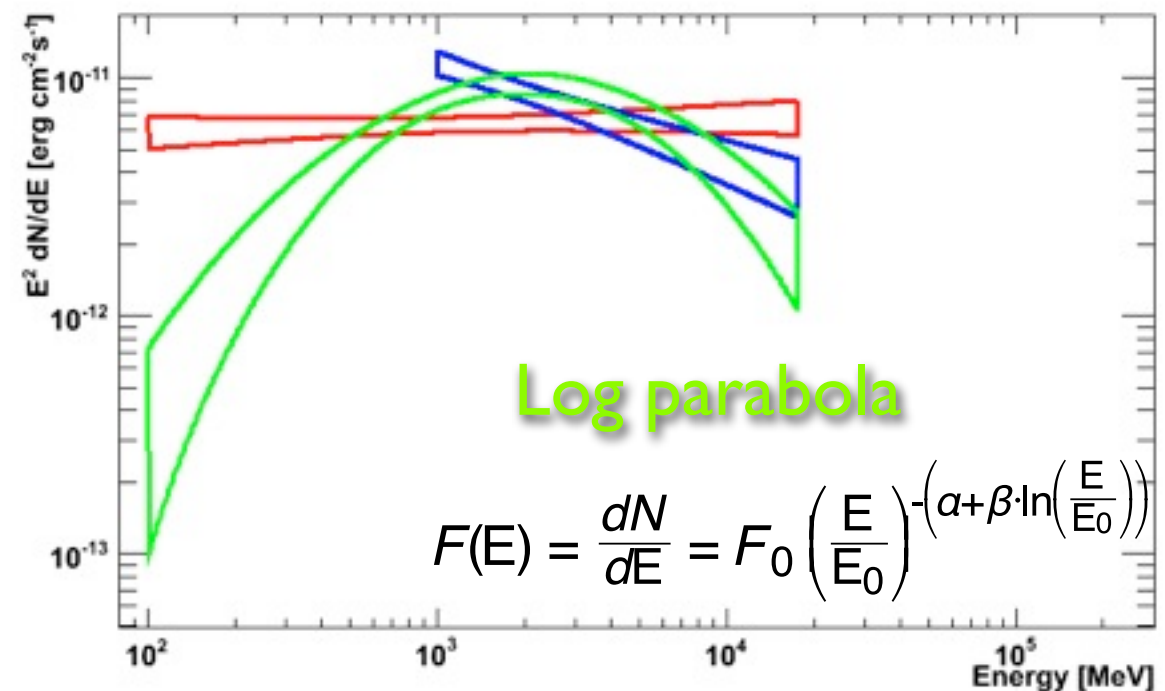
- **Méthode développée au LLR**
- Utilise le catalogue *Fermi* comme point de départ
- Analyse spectrale pour identifier les sources avec courbure
- Extrapolation des sources sans courbure dans la bande 200 GeV - 1 TeV.
- Incluant les effets d'absorption du à l'EBL!
- Les sources sont ensuite ordonnées en ordre de flux prédit décroissant

Comment trouver des candidats TeV?

- **Méthode développée au LLR**
- Utilise le catalogue *Fermi* comme point de départ



décroissant



Comment trouver des candidats TeV?

- **Méthode développée au LLR**
- Utilise le catalogue *Fermi* comme point de départ
- Analyse spectrale pour identifier les sources avec courbure
- Extrapolation des sources sans courbure dans la bande 200 GeV - 1 TeV.
- Incluant les effets d'absorption du à l'EBL!
- Les sources sont ensuite ordonnées en ordre de flux prédit décroissant

Comment trouver des candidats TeV?

Fermi Targets for Cherenkov Telescopes based on 24 months of data

Pascal Fortin (fortin.at.llr.in2p3.fr), David Sanchez (dsanchez.at.llr.in2p3.fr)

Laboratoire Leprince Ringuet

Seth Digel

Kipac/SLAC

and

David Paneque



- Première liste partagée avec **H.E.S.S. VERITAS MAGIC CANGAROO**
- Excellents résultats:
 - Permet de détecter des sources très intéressantes (**AP Lib**)
- Nouvelle liste basée sur 24 mois de données (Novembre 2010)

Quelques résultats...

Discovery of Very High Energy Gamma-Ray Emission from B3 2247+381 by MAGIC

ATel #2910; Mosè Mariotti (INFN and Univ. of Padova) on behalf of the MAGIC Collaboration
on 7 Oct 2010; 13:02 UT
Password Certification: Mosè Mariotti (mariotti@pd.infn.it)

Discovery of Very High Energy gamma-ray emission from 1FGL J2001.1+4351 by MAGIC

ATel #2753; Mosè Mariotti (University of Padova) on behalf of the MAGIC collaboration
on 22 Jul 2010; 17:10 UT
Password Certification: Mosè Mariotti (mariotti@pd.infn.it)

VERITAS reports a High Gamma-ray Flux from VER J0521+211

ATel #2309; Rene A. Ong (for the VERITAS Collaboration)
on 23 Nov 2009; 2:26 UT
Distributed as an Instant Email Notice (Request for Observations)
Password Certification: Rene Ong (rene@astro.ucla.edu)

Discovery of High-Energy Gamma-Ray Emission from the BL Lac Object RBS 0413

ATel #2272; Rene A. Ong (UCLA), on behalf of the VERITAS Collaboration; Pascal Fortin (LLR), on behalf of the Fermi Large Area Telescope Collaboration
on 29 Oct 2009; 18:42 UT
Password Certification: Rene Ong (rene@astro.ucla.edu)

VERITAS Discovery of Very High-Energy Gamma-Ray Emission from 1FGL J0648.8+1516

ATel #2486; Rene A Ong (UCLA) for the VERITAS Collaboration; David Paneque (SLAC/KIPAC) on behalf of the Fermi Large Area Telescope (LAT) Collaboration
on 17 Mar 2010; 17:27 UT
Distributed as an Instant Email Notice (Request for Observations)
Password Certification: Rene Ong (rene@astro.ucla.edu)

Very High Energy gamma-ray emission from AP Lib detected by H.E.S.S.

ATel #2743; W. Hofmann for the H.E.S.S. Collaboration
on 17 Jul 2010; 9:44 UT
Password Certification: Martin Raue (martin.raue@mpi-hd.mpg.de)

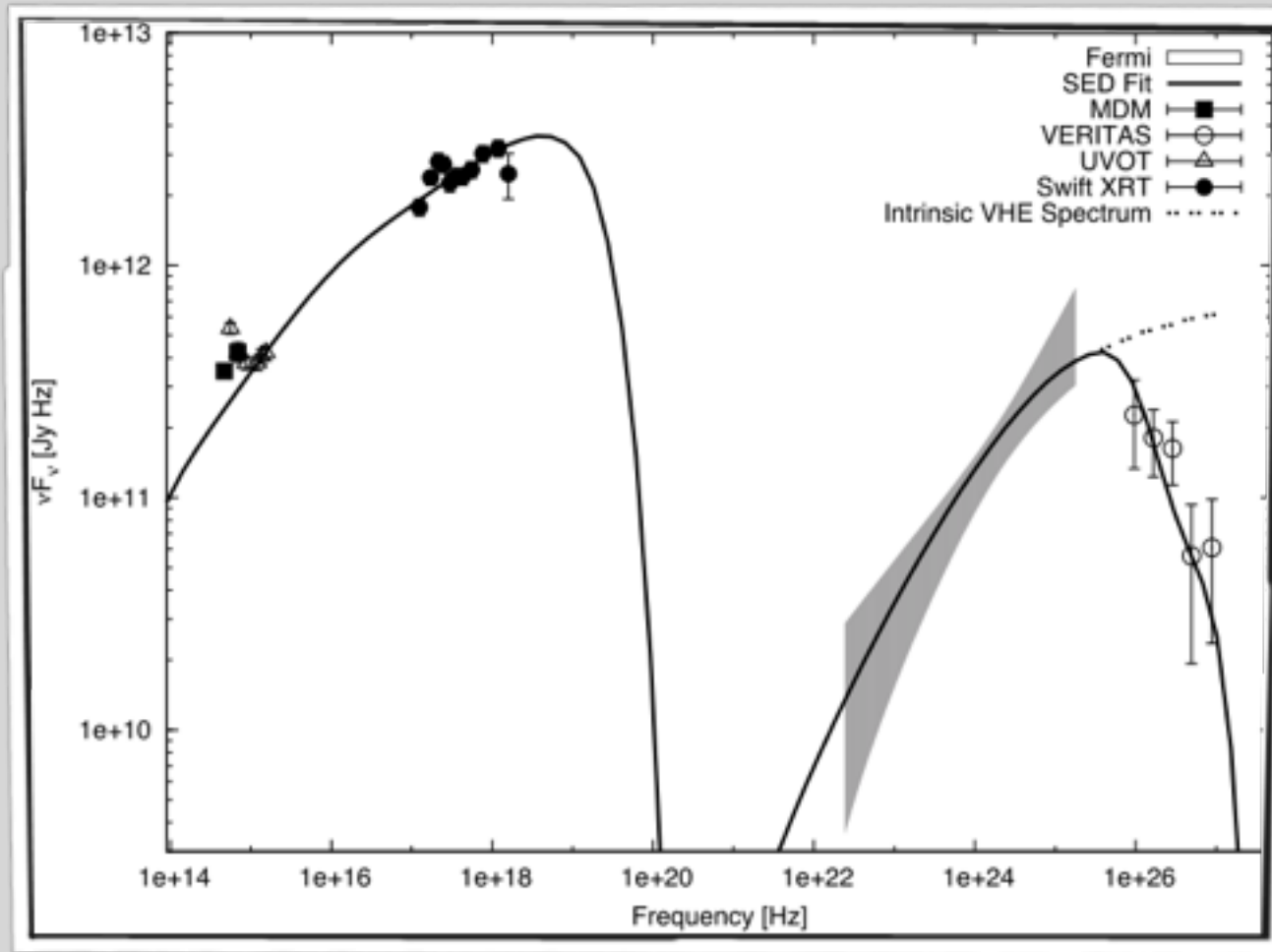
Discovery of Very High Energy Gamma-ray Emission from the Blazar 1ES 1440+122

ATel #2786; Rene A Ong (UCLA) for the VERITAS Collaboration
on 11 Aug 2010; 15:37 UT
Distributed as an Instant Email Notice (Request for Observations)
Password Certification: Rene Ong (rene@astro.ucla.edu)

Discovery of VHE Gamma-Ray Emission from the Fermi-LAT Source 1ES 0502+675

ATel #2301; Rene A. Ong (UCLA) for the VERITAS Collaboration
on 17 Nov 2009; 20:19 UT
Distributed as an Instant Email Notice (Request for Observations)
Password Certification: Rene Ong (rene@astro.ucla.edu)

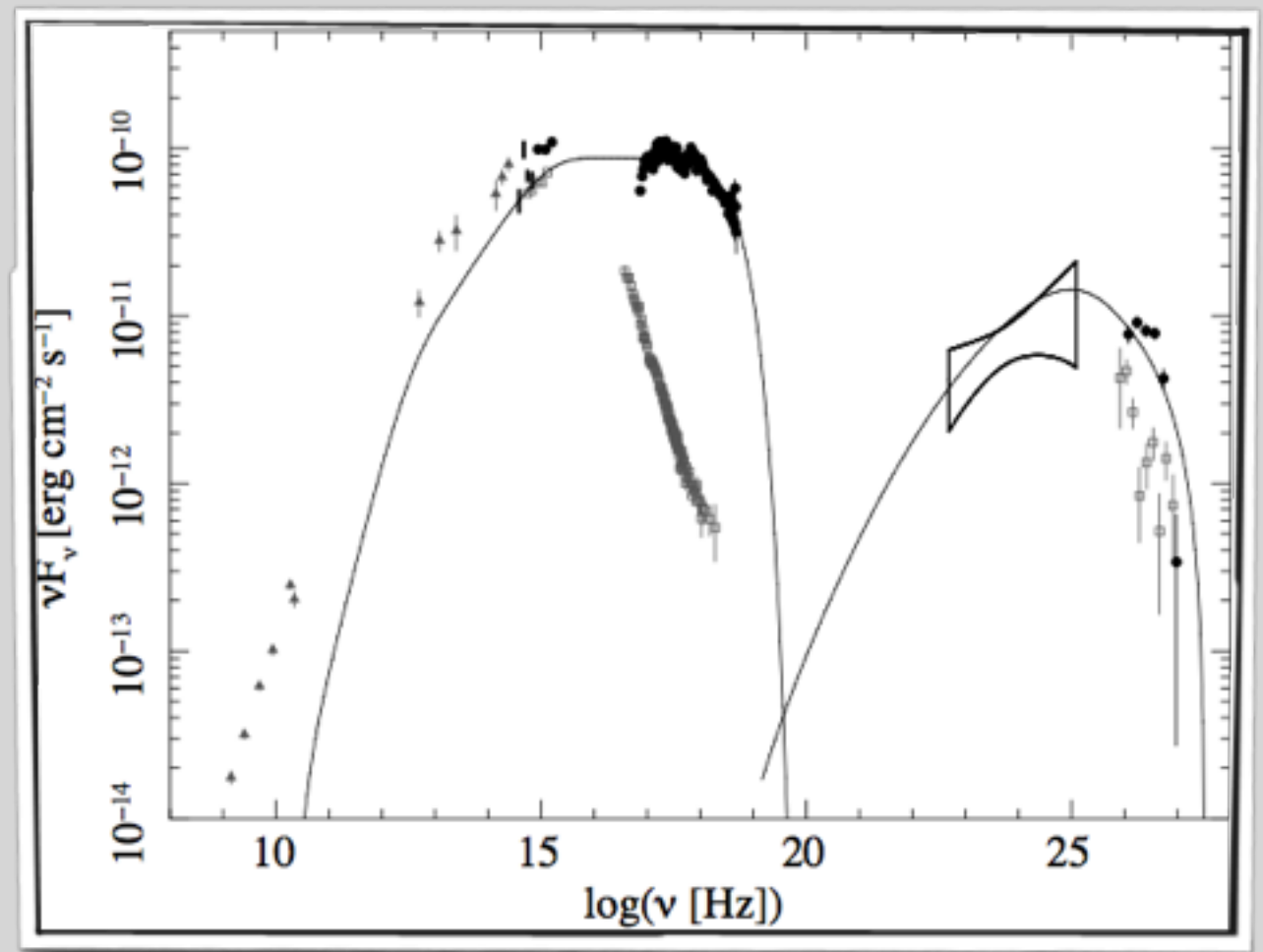
Deux sources typiques



RGB J0710+591: HBL

Acciari et al., ApJ 2010 715, L49

Fermi - VERITAS



PKS 2005-489: HBL

Abramowski et al., Submitted to A&A

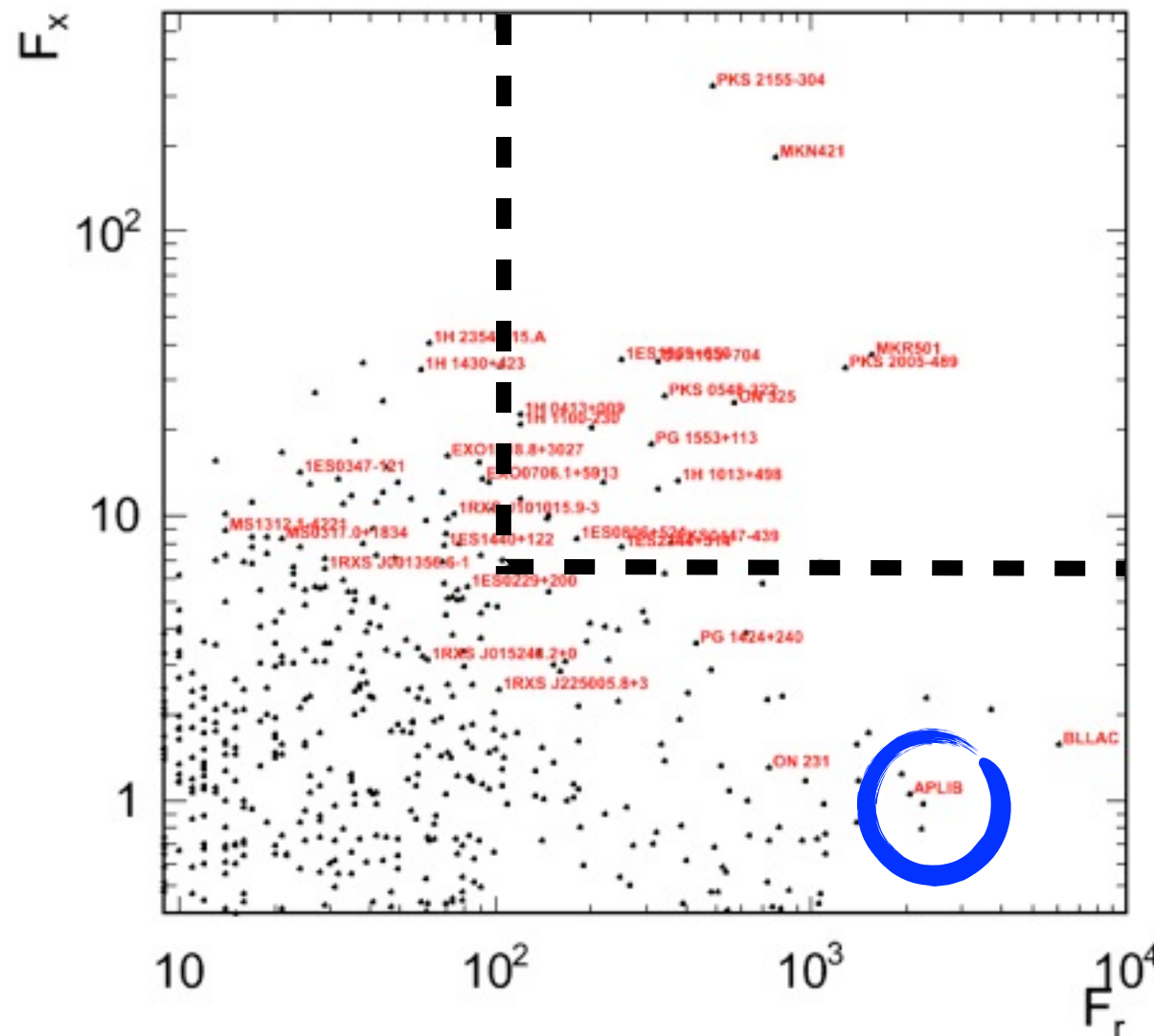
Fermi - H.E.S.S.

AP Librae

- Une source *Fermi* brillante détectée par [H.E.S.S.](#) durant l'été 2010
- Blazar du type LBL (peak synchrotron dans la bande optique)
- Indice spectral *Fermi* est dur (2.1 ± 0.1)
- Indice spectral H.E.S.S. compatible avec extension du spectre de *Fermi* (2.5 ± 0.2)
- Pas de variabilité observée à toutes les longueurs d'onde!
- Distribution spectral très intéressante.
 - Pas besoin de rayons-x pour produire des gammas VHE!!!

AP Librae

- Une source *Fermi* brillante détectée par **H.E.S.S.** durant l'été 2010
- Blazar du type γ (à l'optique)
- Indice spectral $\alpha \approx 0$
- Indice spectral *Fermi* (2.5 ± 0.5)
- Pas de variabilité détectée
- Distribution spectrale
- Pas besoin de VHE!!!



optique)

lu spectre de

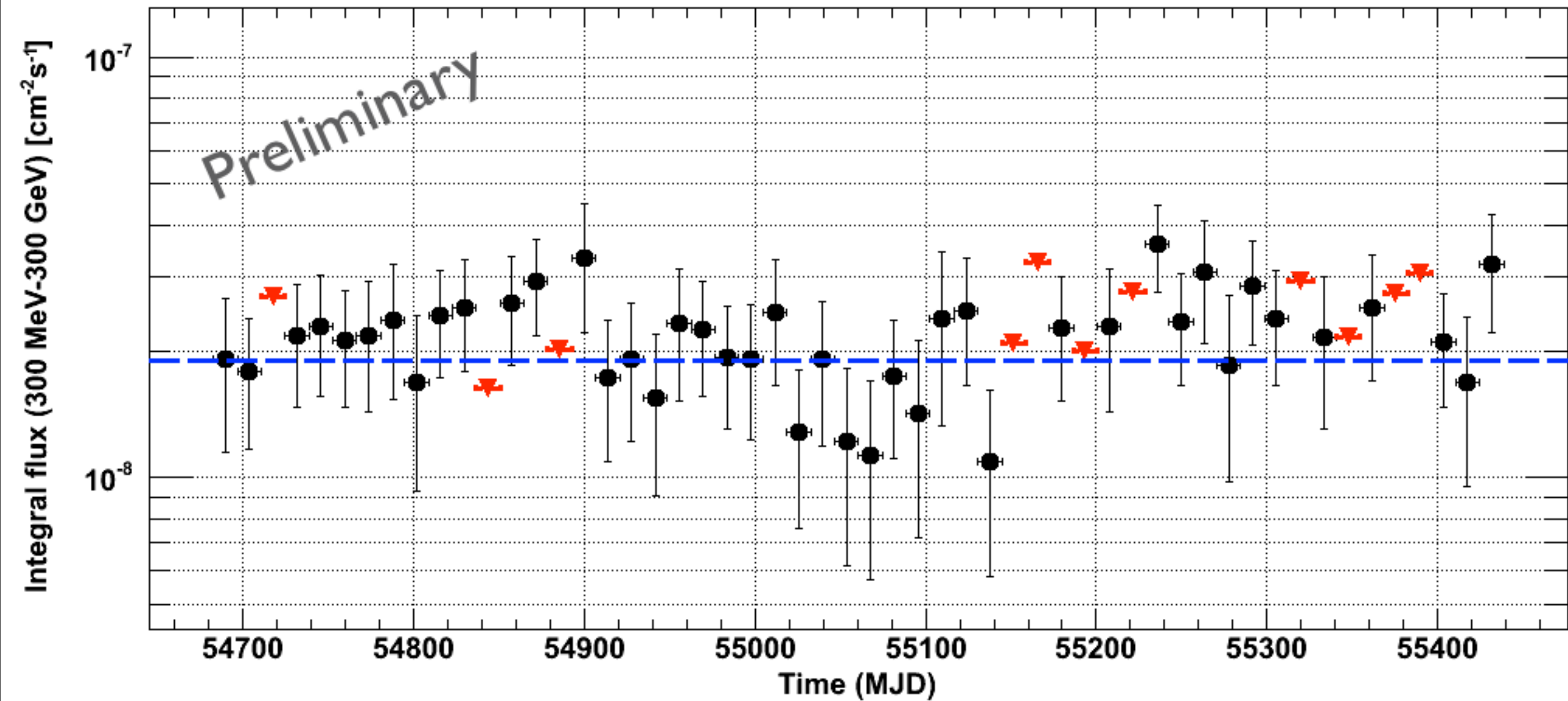
onde!

is VHE!!!

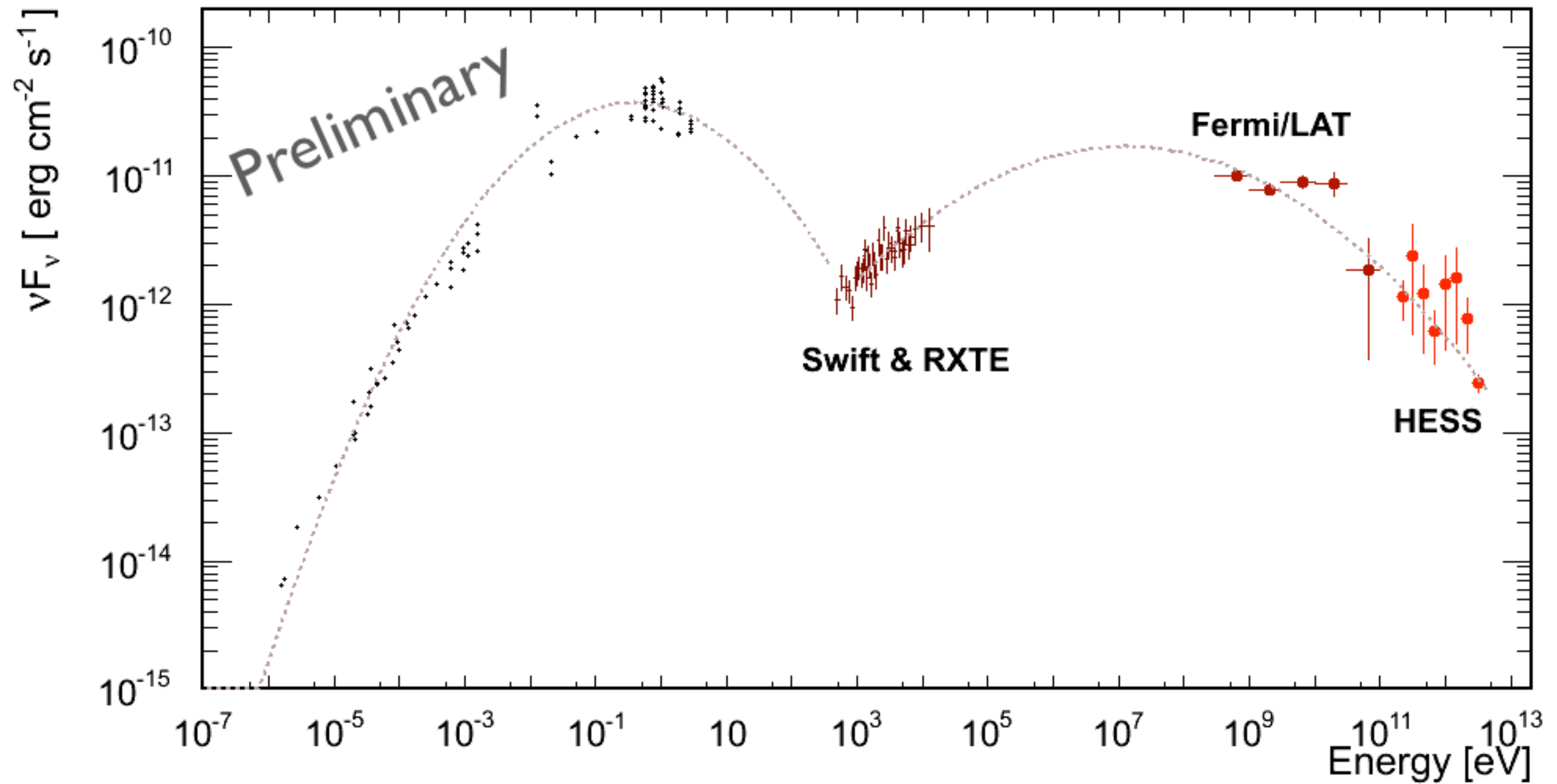
AP Librae

- Une source *Fermi* brillante détectée par [H.E.S.S.](#) durant l'été 2010
- Blazar du type LBL (peak synchrotron dans la bande optique)
- Indice spectral *Fermi* est dur (2.1 ± 0.1)
- Indice spectral H.E.S.S. compatible avec extension du spectre de *Fermi* (2.5 ± 0.2)
- Pas de variabilité observée à toutes les longueurs d'onde!
- Distribution spectral très intéressante.
 - Pas besoin de rayons-x pour produire des gammas VHE!!!

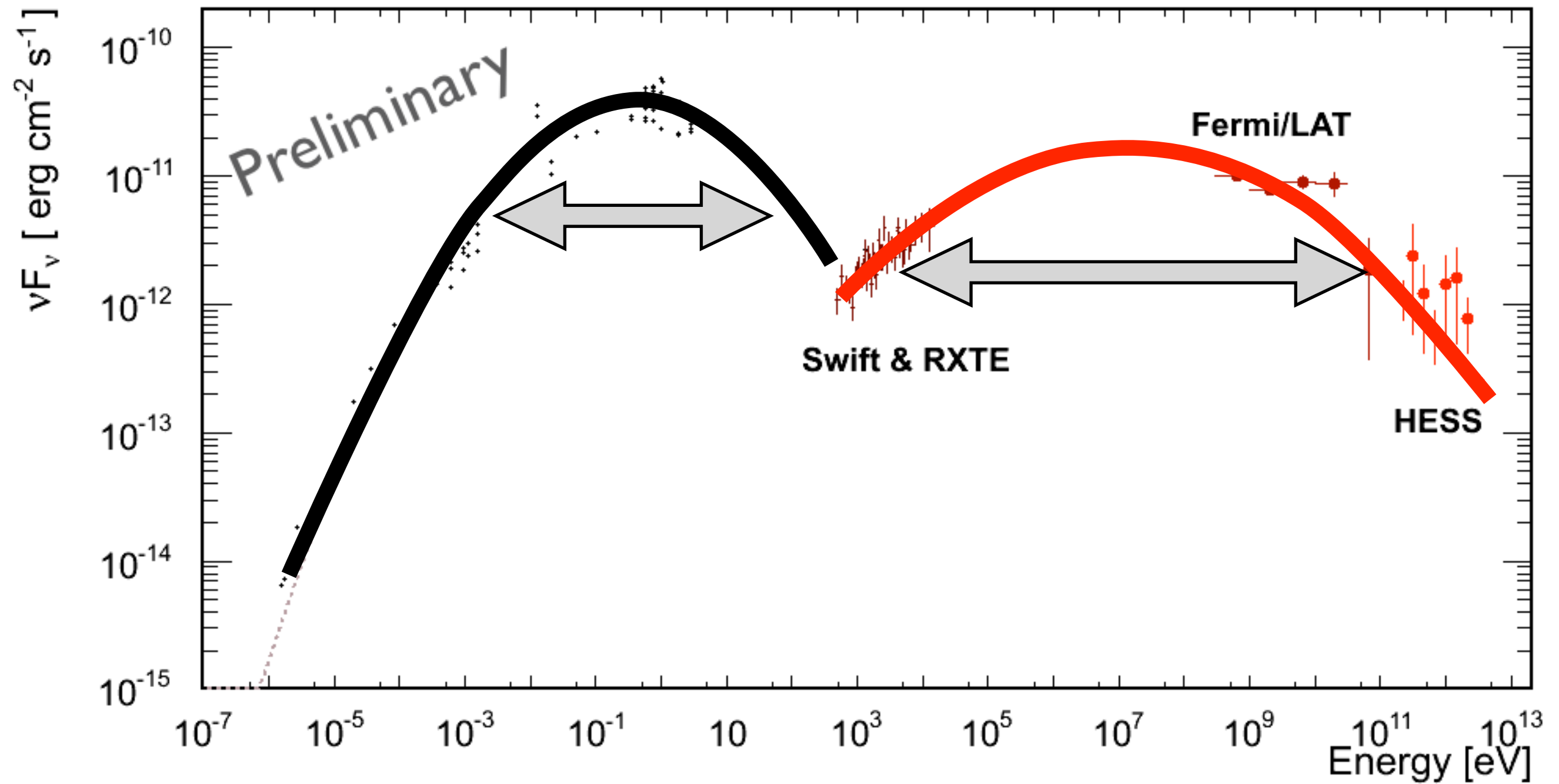
AP Librae (courbe de lumière)



AP Librae (SED)



AP Librae (SED)

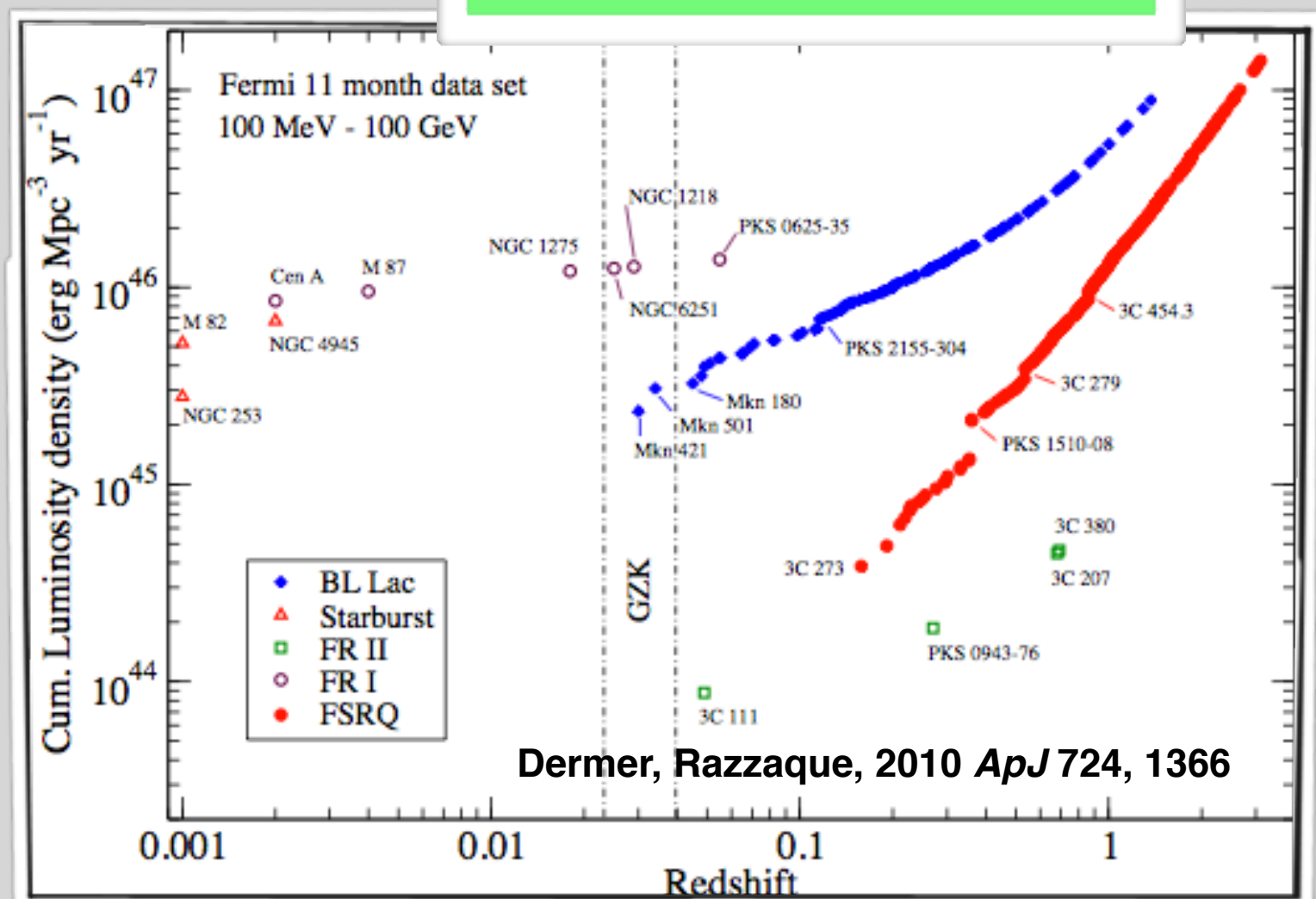
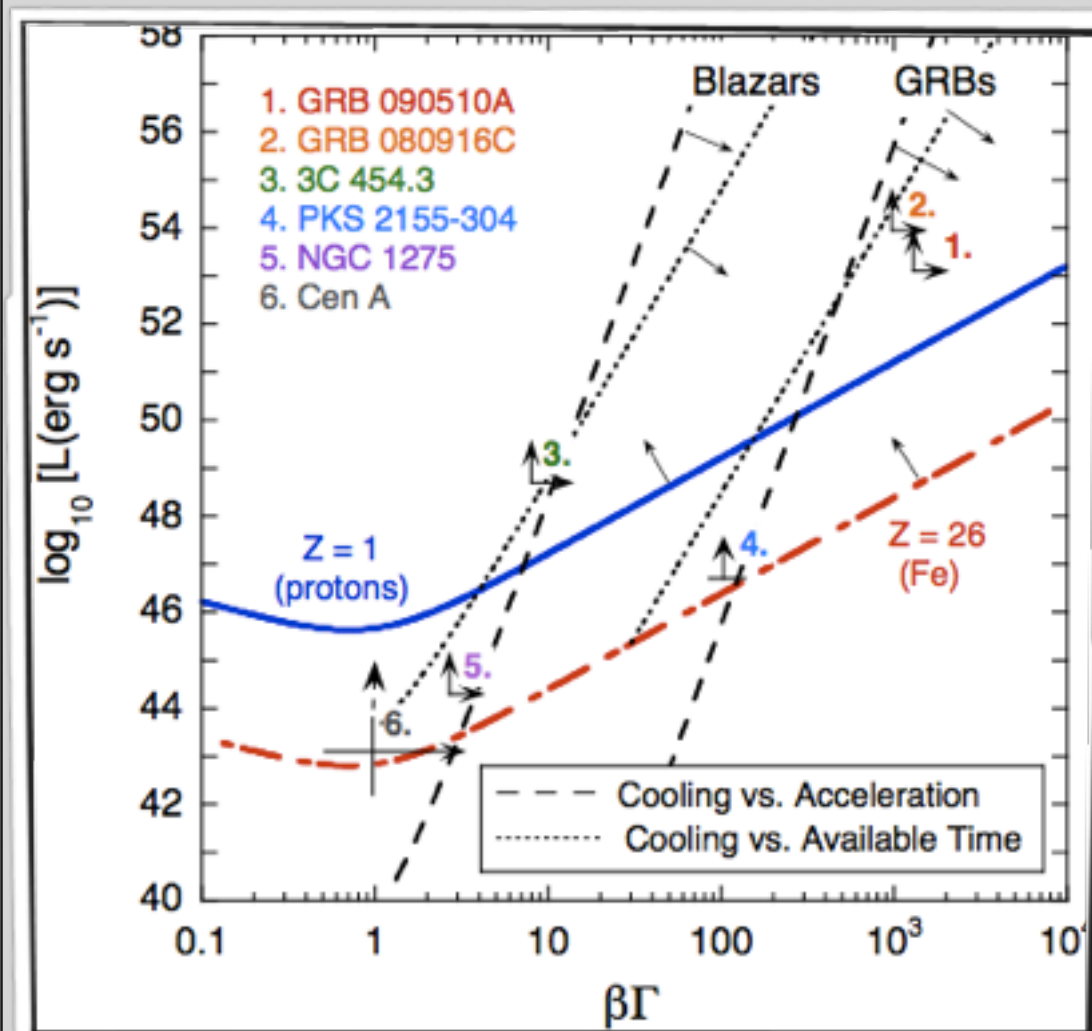


Fermi et la physique astro-particule

UHECRs et *Fermi*

- Quel est l'origine et la composition des UHECRs?
- *Fermi* peut-il apporter un élément de réponse?

BL Lac, Radio Galaxies
+ GRBs



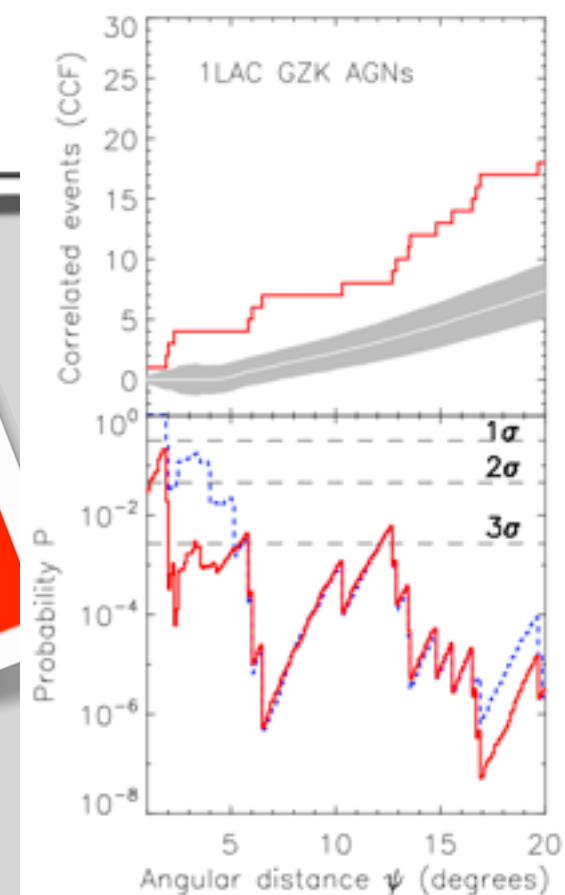
Corrélation Auger - *Fermi* LAT

- Si les AGN sont les sources de UHECRs, il devrait y avoir une corrélation spatiale avec les événements Auger
 - La collaboration Auger a déjà utilisé Veron-Cetti et le catalogue AGN produit par *Swift*-BAT
- *Fermi* a publié un catalogue d'AGN (1LAC) Abdo et al., 2010 *ApJ* 715, 429
 - Y-a-t-il une corrélation?

• Pour les AGNs à l'intérieur de la sphère GZK (9 seulement) Nemmen et al., 2010 *ApJ* 722, 281

- Association à 5.4σ pour $\Psi \sim 17^\circ$
- Association à 5σ pour $\Psi \sim 6.5^\circ$

2FGL sera bientôt publié et Auger aura plus d'événements

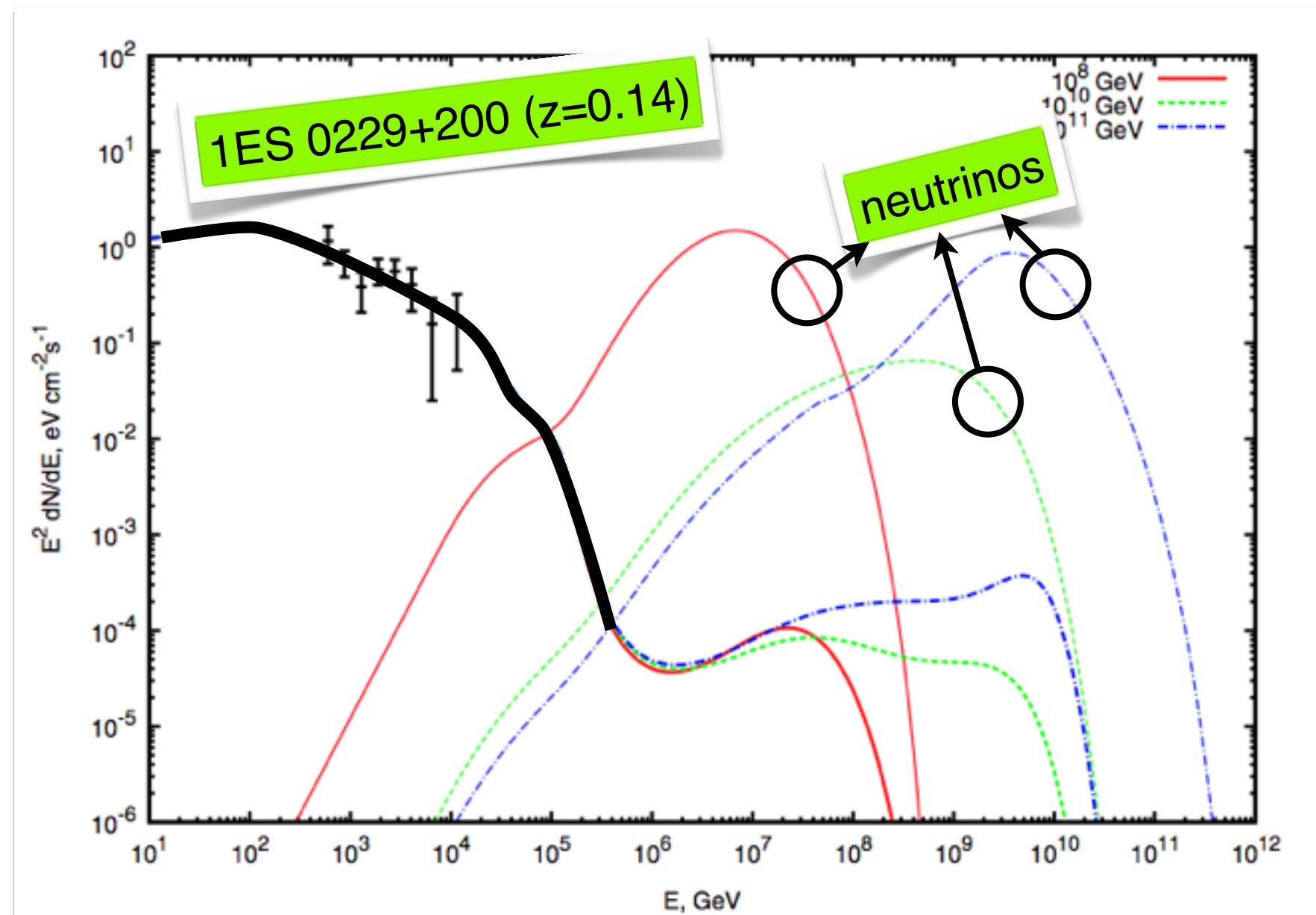


Photons et neutrinos secondaires...

- Le spectre de photons des AGN distants détectés au TeV pourrait être d'origine hadronique (*UHECRs avec le CMB et l'EBL*)

Essay et al. 2010 PRL 104, 141102

- Les AGN lointains ont souvent un spectre très dur
- Les données *Fermi* peuvent-elles aider à contraindre ces modèles?

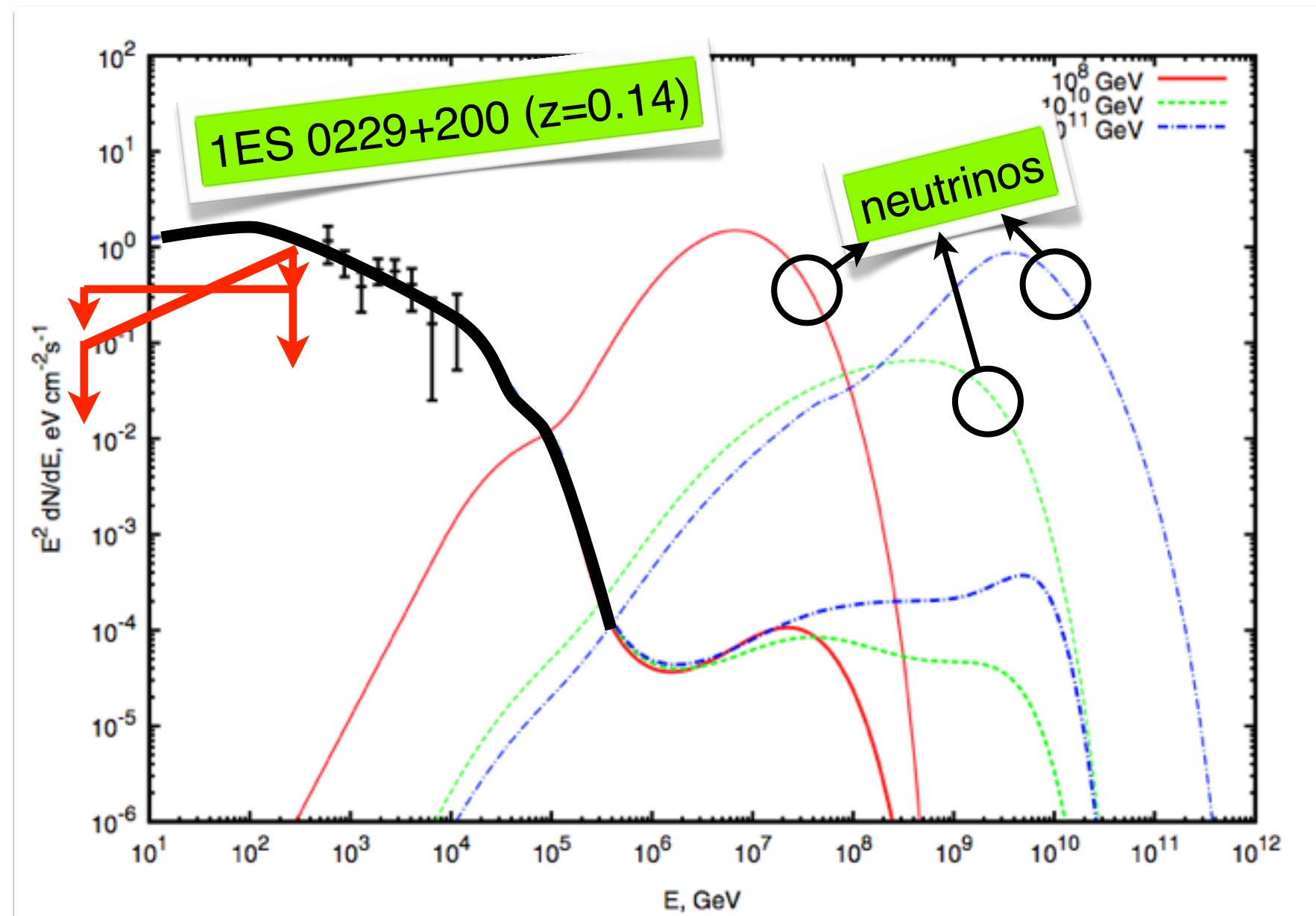


Photons et neutrinos secondaires...

- Le spectre de photons des AGN distants détectés au TeV pourrait être d'origine hadronique (*UHECRs avec le CMB et l'EBL*)

Essay et al. 2010 PRL 104, 141102

- Les AGN lointains ont souvent un spectre très dur
- Les données *Fermi* peuvent-elles aider à contraindre ces modèles?



Neutrinos et GRB

- Le modèle “*fireball*” prédit que les GRB pourraient être les sources de UHECRs
 - Des neutrinos de haute énergie devraient pouvoir être détectés par les détecteurs km³
 - Recherche de coïncidences déjà publiée avec 1/2 IceCube détecteur (40 strings) Abbasi et al., 2011, arXiv:1101.1448

- 5 avril 2008 - 20 mai 2009 (~1 an)
 - 129 GRBs dans l’hémisphère nord
 - Pas de détection, mais...

- IceCube est maintenant 100% opérationnel (80 strings)
- *Fermi* GBM détecte ~300 GRB / an
- A suivre....

Perspectives et conclusions

Perspectives

- **Au cours des prochaines années**
 - Catalogue *Fermi* de sources dures (2011)
 - Plusieurs nouvelles détections GeV-TeV par H.E.S.S. VERITAS MAGIC
 - MAGIC-2 et H.E.S.S.-2
 - Auger et IceCube → nouveaux résultats

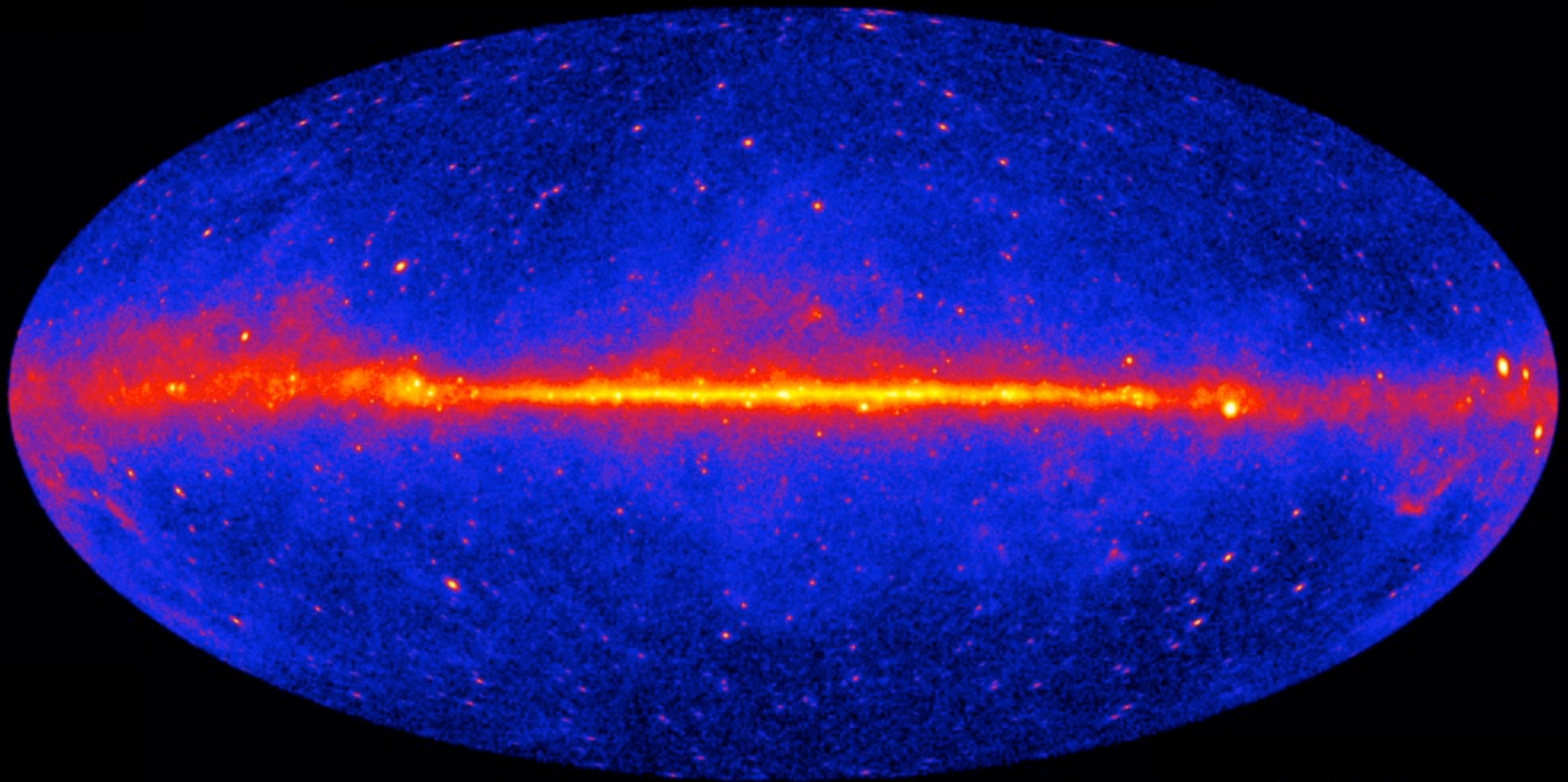


Conclusions

- Après 2.5 ans *Fermi* fonctionne parfaitement
 - > 1000 nouvelles sources de rayons gamma
 - Nouvelles classes (galaxies starburst, novae, pulsar milliseconde, etc)
 - > 600 GRBs
- Plusieurs résultats
 - Études AGN, matière noire, émission gamma diffuse, spectre électrons, GRB, etc.
- Plusieurs nouvelles sources détectées au TeV grâce à *Fermi*

Les données *Fermi* sont publiques!

Merci de votre attention



Références

Instrumentation:

Atwood et al., *ApJ* 697, 1071

f

f

Catalogue 1FGL et 1LAC:

Abdo et al., *ApJS* 188, 405

Abdo et al., 2010 *ApJ* 715, 429

f

f

Changement de flux du Crabe:

Abdo et al., *Science*, 6 January 2011

Wilson-Hodge et al., *ApJ*, 727, L40

f

f

Pulsar Timing Arrays:

Manchester, arXiv:1101.5202

UHECRs:

Abraham et al., 2010 *Physics Letters B* 685, 239

Dermer, Razzaque, 2010 *ApJ* 724, 1366

Nemmen et al., 2010 *ApJ* 722, 281

Neutrinos:

Abbasi et al., 2011, arXiv:1101.1448