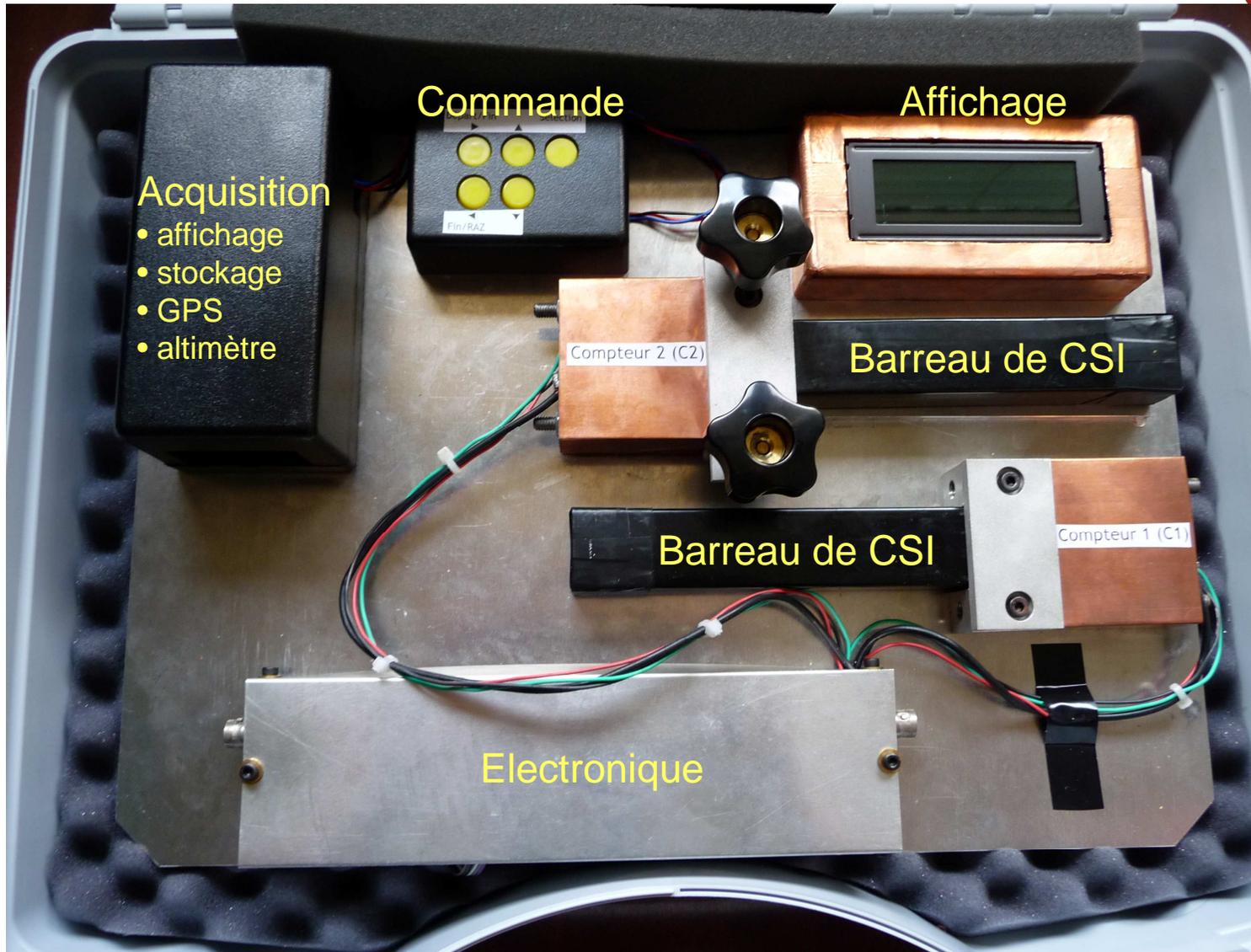




# *Le projet Cosmix*

# Valise COSMIX





**Personnes:** D. Dumora, BL

**Valise pédagogique** utilisable par tout professeur de physique du secondaire **sans** nécessiter de formation spécifique. Permet de mettre en évidence l'existence des **Rayons Cosmiques** (programme de TS)

- **Visualisation** des signaux avec les oscilloscopes disponibles dans tous les lycées/ « Synchronie »
- **Comptage** et **enregistrement des données** par système d'acquisition basé sur un microcontrôleur Arduino et microcarte SD. Equipé d'un GPS+altimètre.

**Avantages:**

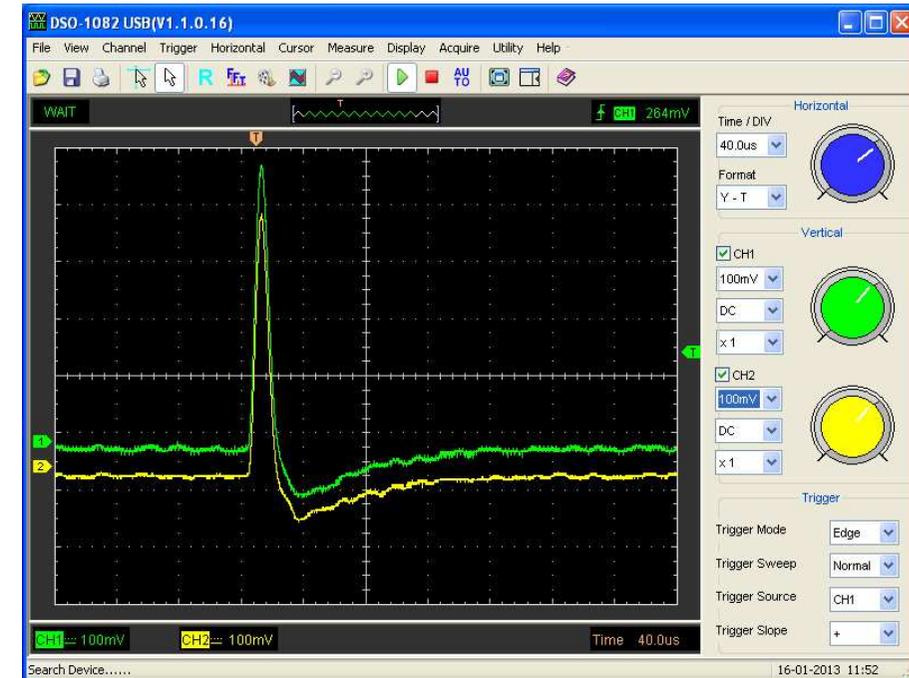
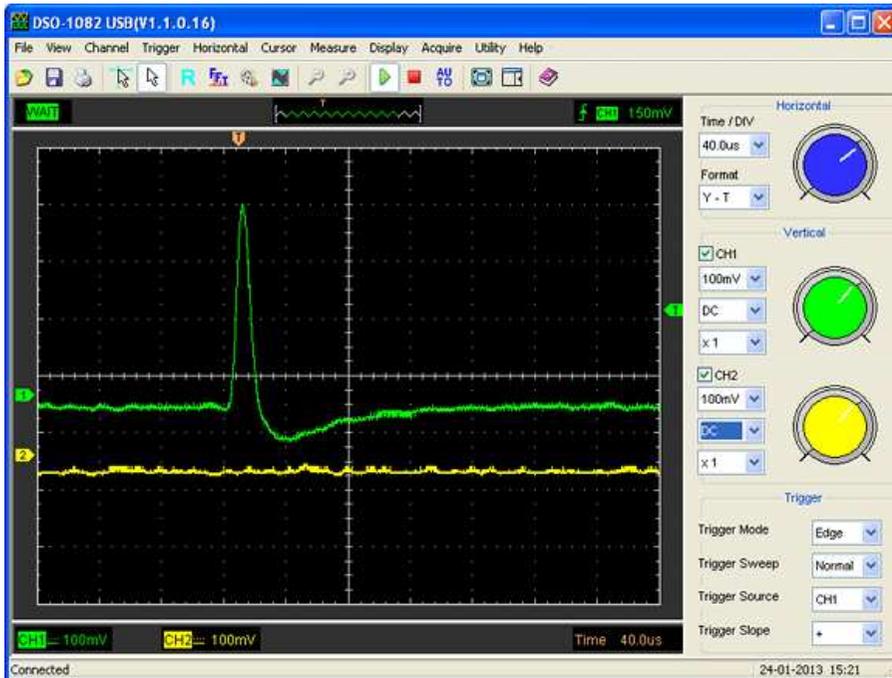
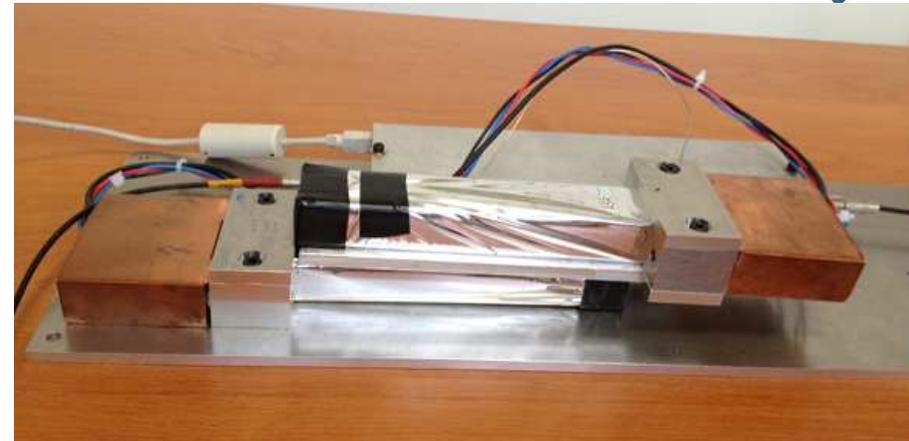
- **Cout ~1200 euros** (réutilisation des détecteurs de test de GLAST +électronique)
- Facilité d'utilisation
- Transportabilité (alimentation par USB)

**Status:** Trois mallettes existantes dont deux financées par « **Sciences à l'Ecole** »  
Ont circulé dans 15 lycées de l'académie de Bordeaux à la rentrée 2013, touchant **plus de 1000 lycéens**

**Demandes en cours:** 10 pour l'IdF, 3 pour le Labex Ocevu (+10 pour l'Aquitaine?)



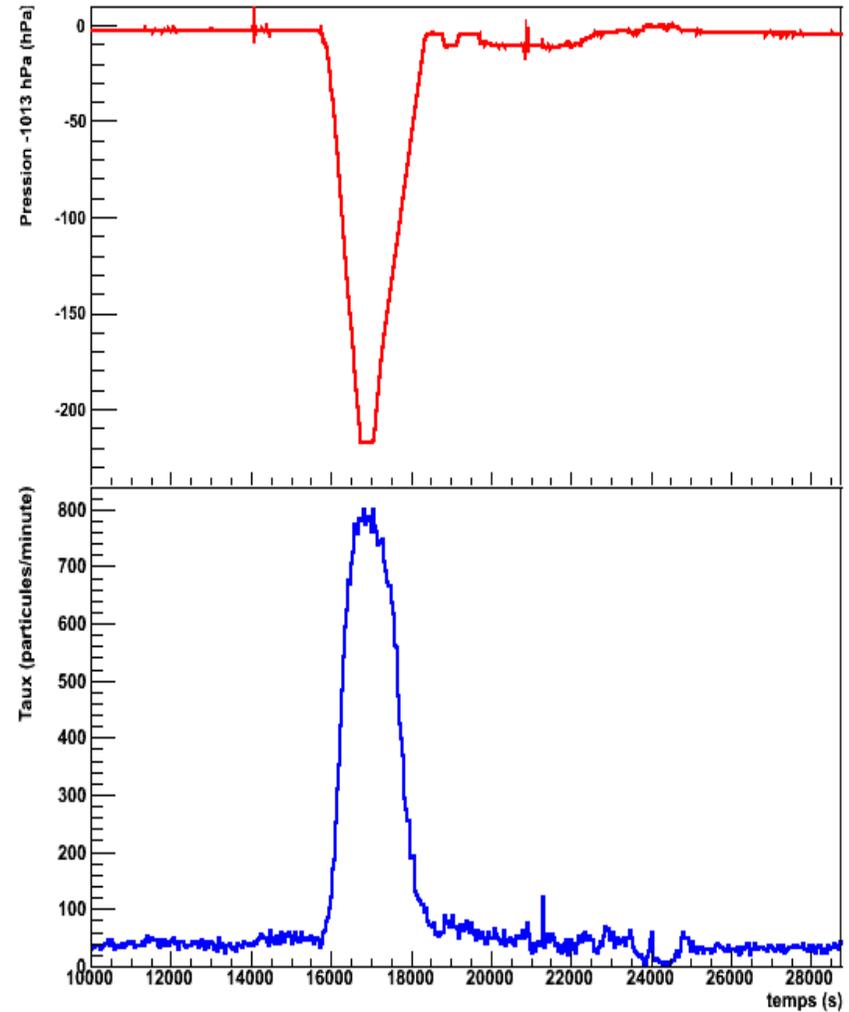
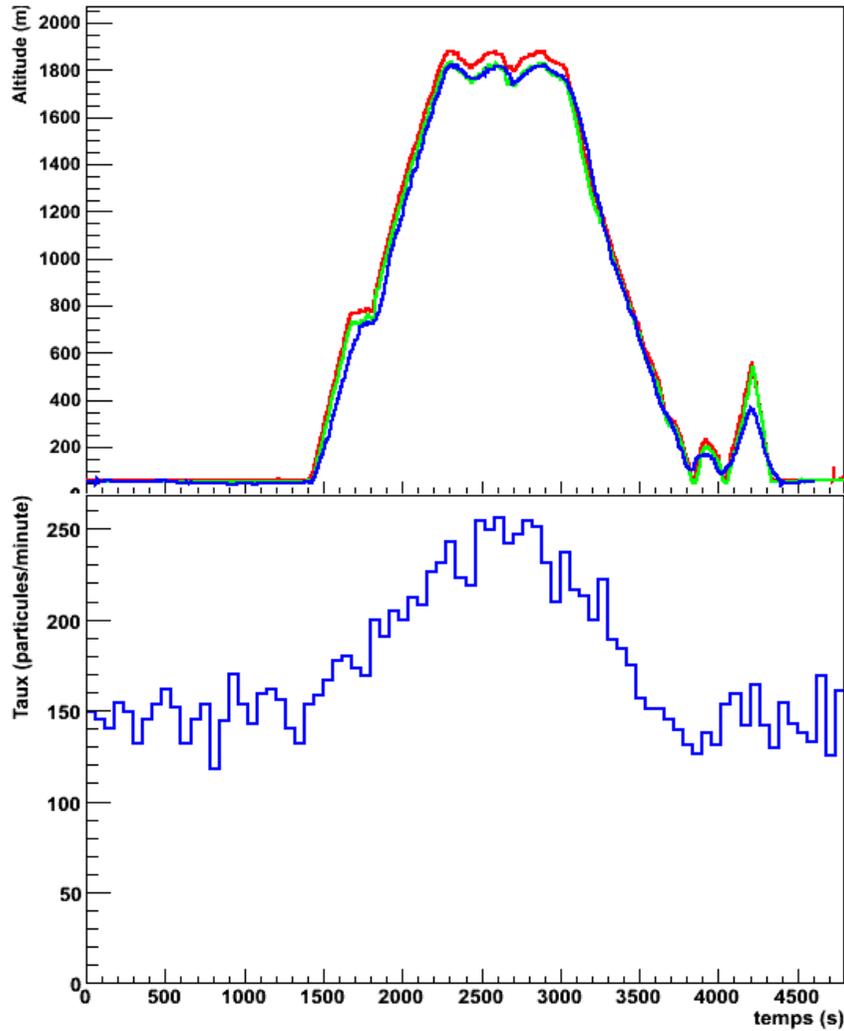
# La manip...





Vol en avion d'aéroclub à 1800 m

Vol en avion de ligne à 10000 m





Compétence en Terminale S:

"Extraire et exploiter des informations sur :

- des sources d'ondes et de particules et leurs utilisations ;
- un dispositif de détection. Pratiquer une démarche expérimentale mettant en oeuvre un capteur ou un dispositif de détection. "

Illustration de la relativité restreinte par la détection des muons atmosphériques au sol.

TPE: mesurer la variation du taux de muons à différents étages d'un immeuble, dans un parking sous-terrain ou le métro, en montagne (mise à disposition des données enregistrées dans différentes conditions sur le web).

Illustration de la loi de Poisson, familiarisation avec la statistique des données (notion de distribution, incertitudes sur les mesures en fonction de la durée de prise de données).

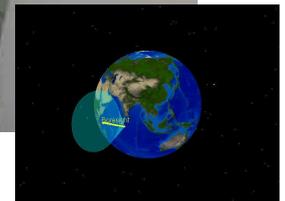
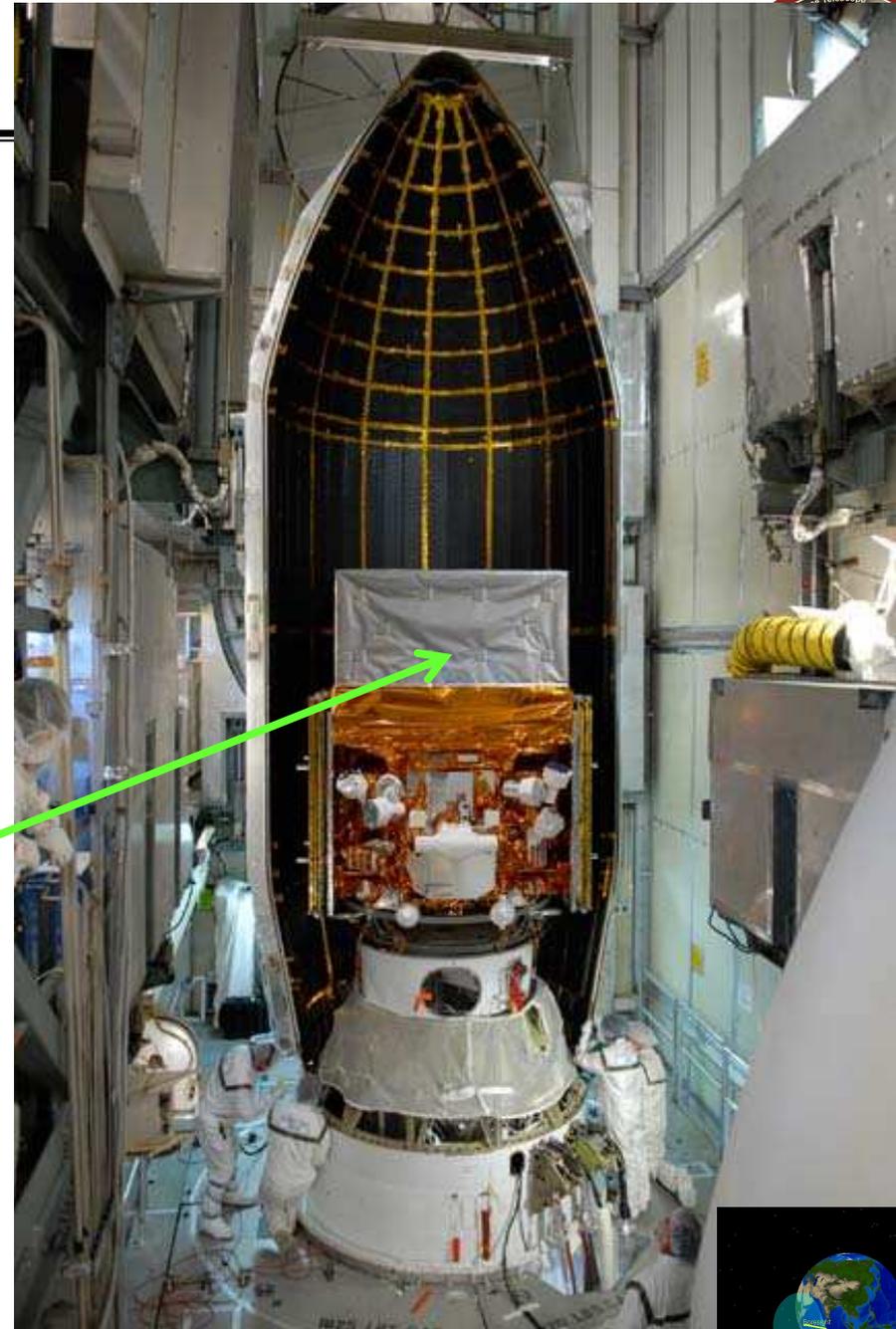
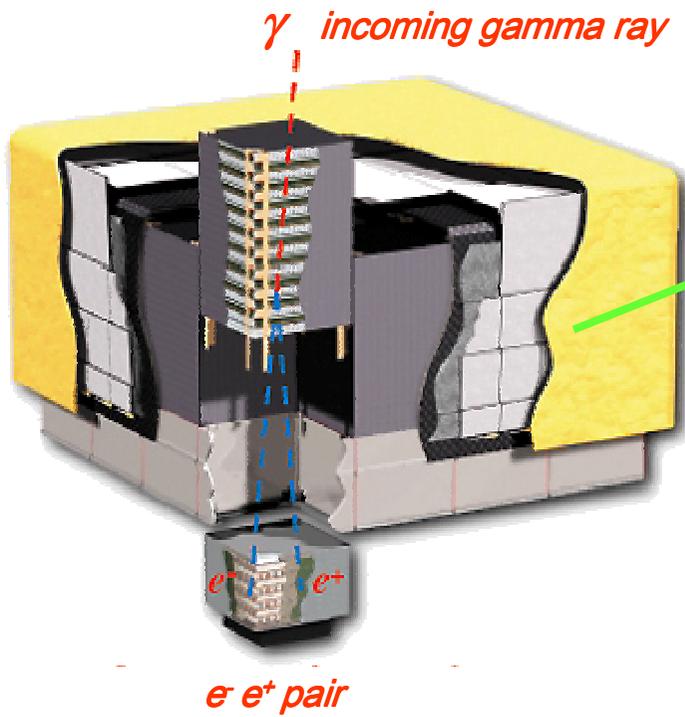


# *Le projet Cosmax*



# The Large Area Telescope on board the Fermi satellite

(launch: June 11, 2008)

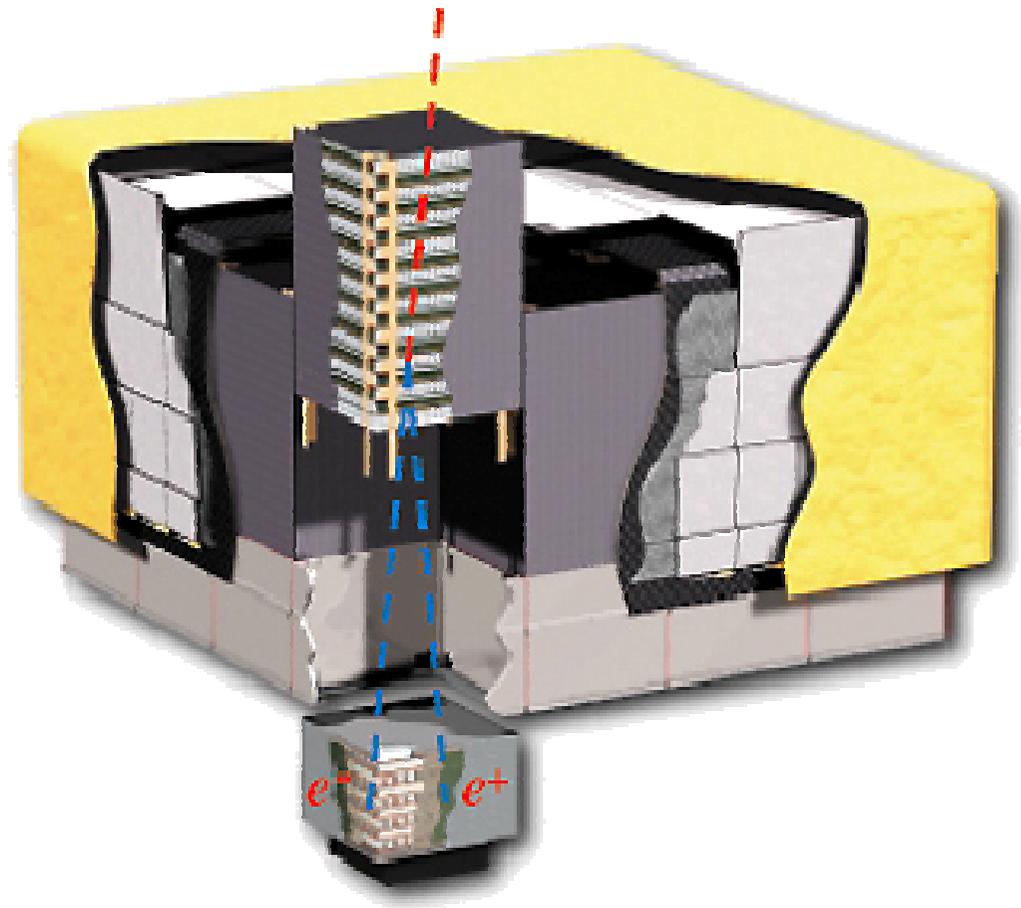


# The Large Area Telescope



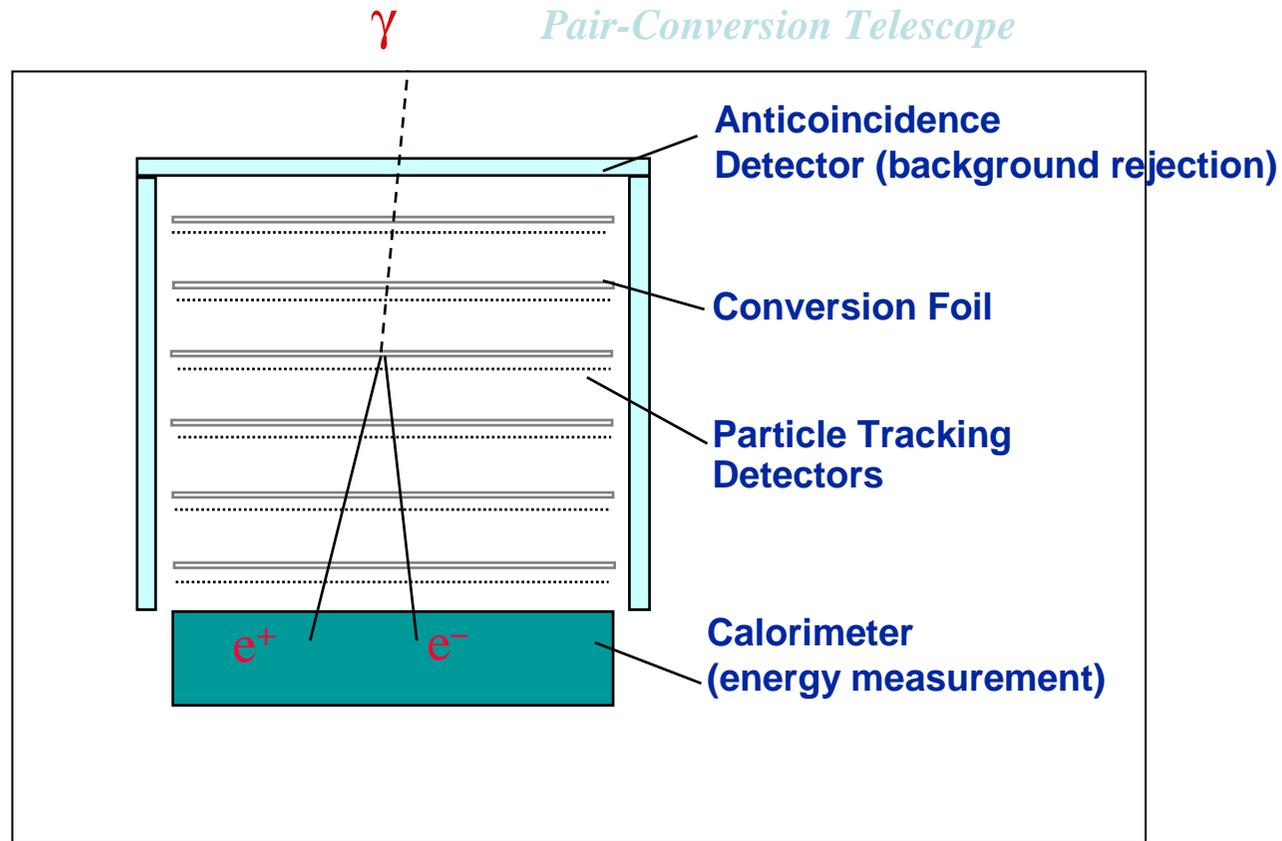
- Détection photon par photon  
Conversion du rayon  $\gamma$  en une paire électron-positon ( $E=mc^2$ )
- Taux de détection: 3 photons/s  
Bruit de fond 1000-10000/s
- Champ de vue: 20% de  $4\pi$   
Couvre tout le ciel en 3 heures
- Domaine d'énergie: 30 MeV-300 GeV
- surface effective:  $\sim 1 \text{ m}^2$
- Résolution  $\sim 1^\circ$  à 1 GeV, s'améliore quand l'énergie augmente
- Orbite: 565 km, période: 95 min,  
Couvre tout le ciel en 2 orbites (3h)

*$\gamma$  rayon gamma incident*



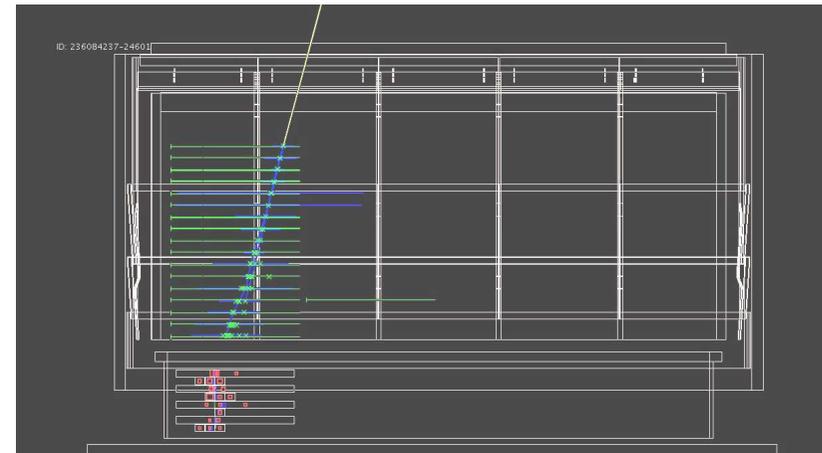
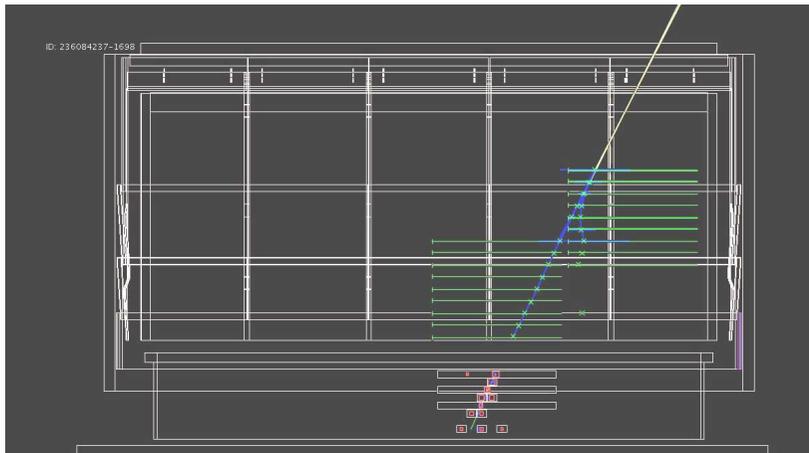
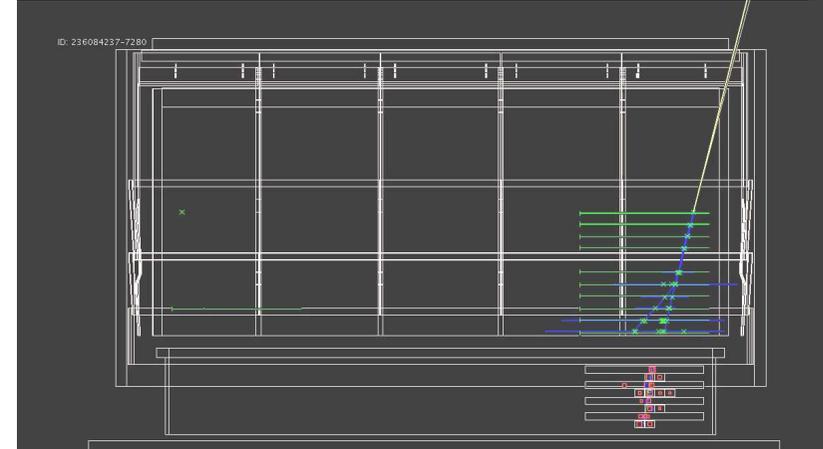
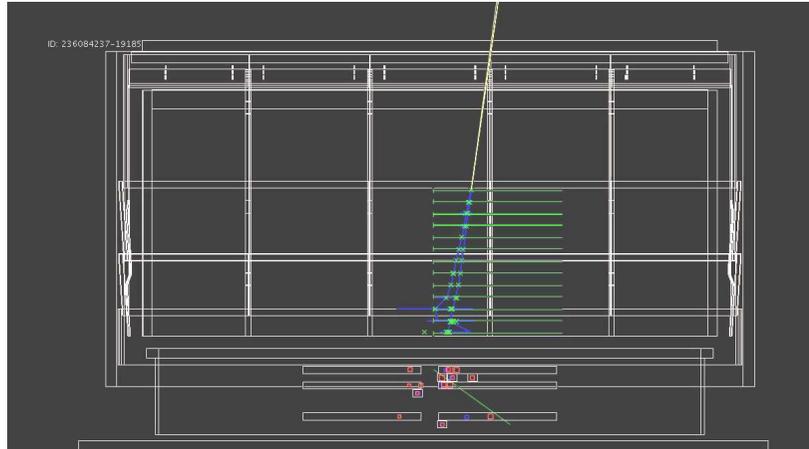
Pour une source brillante ( $\text{Flux}[E > 100 \text{ MeV}] = 1 \cdot 10^{-6} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )  
1 photon détecté/100 s. Spectres en loi de puissance ( $n(E) \propto E^{-\nu}$ )

# Fermi Large Area Telescope (LAT)



Les photons gamma interagissent avec la matière par production de paires électron-positon. Le LAT est un détecteur de particules.

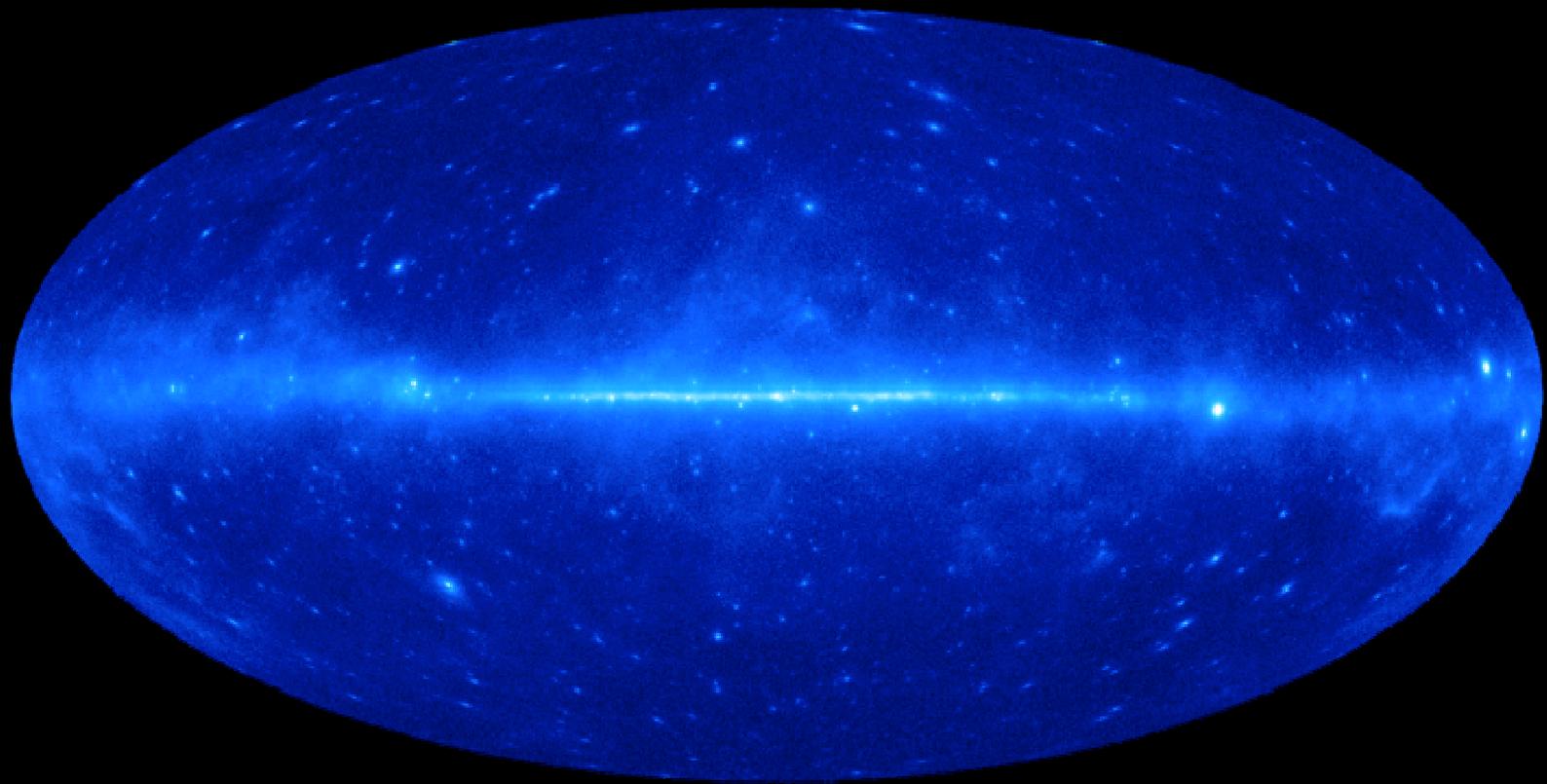
# Photons gamma dans le LAT



*Les croix vertes indiquent les positions détectées des particules chargées, les lignes bleues indiquent les trajectoires reconstruites à partir des traces, et la ligne jaune montre la direction estimée du photon gamma. Les croix rouges indiquent les dépôts d'énergie détectés dans le calorimètre.*



© 2000, Axel Mellinger

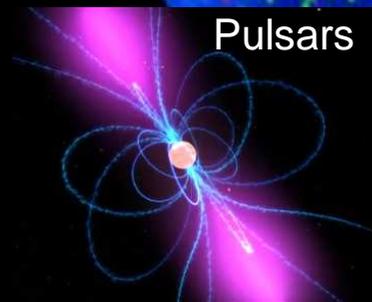
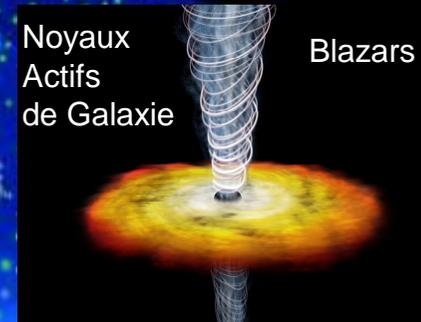


Credit: Fermi Large Area Telescope Collaboration

# Fermi Large Area Telescope 2FGL catalog

- AGN
- ⊗ AGN-Blazar
- AGN-Non Blazar

- × Galaxy
- ★ Starburst Galaxy
- ◇ Radio Galaxy
- + Seyfert Galaxy



- Unassociated
- Possible Association with SNR and PWN

- Nova
- × PSR
- ◇ PSR w/PWN
- ◇ Globular Cluster
- PWN
- SNR
- + HMB

1873 sources with  $TS > 25$

The Fermi collaboration, Nolan, P. L. et al. 2012, ApJS, 199, 31

Publication de 2012 la plus citée en Astrophysique

Credit: Fermi Large Area Telescope Collaboration

## "Emission non-thermique"



Depuis la fin des années 1970, on détecte des rayons gamma provenant de l'espace.

Comment sont ils produits?

- 1) Toute **particule accélérée** produit un **rayonnement**, d'autant plus important que la particule est légère (e).

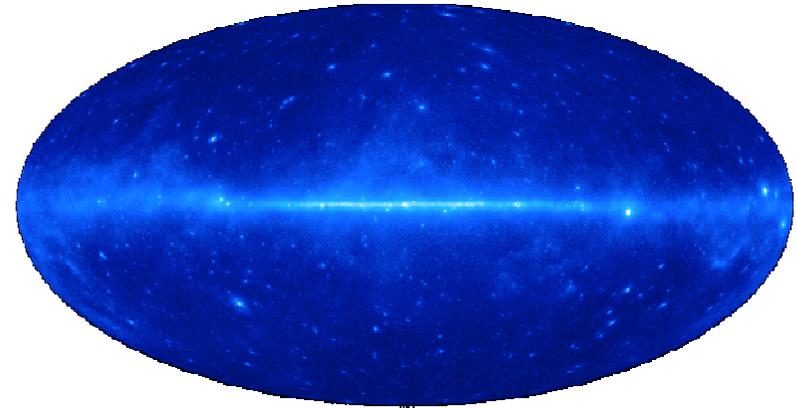
La vitesse peut varier à cause d':

- une déflexion par un noyau atomique: **rayonnement de freinage**
- une déflexion par un champ magnétique: **émission synchrotron**.

- 2) Un électron de grande énergie peut communiquer une partie de son énergie à un rayonnement et augmenter ainsi l'énergie de celui-ci: **effet Compton**.

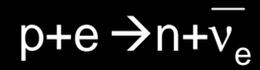
- 3) Des réactions nucléaires entre noyaux légers peuvent créer des **particules instables**, qui se désintègrent en rayonnement gamma.

**L' Astronomie gamma** permet d' étudier les **Accélérateurs Cosmiques**.



# Pulsars

“Pulsating star”: étoile à neutrons en rotation (jusqu’à 30 tours/s)  
une centaine détectée par Fermi

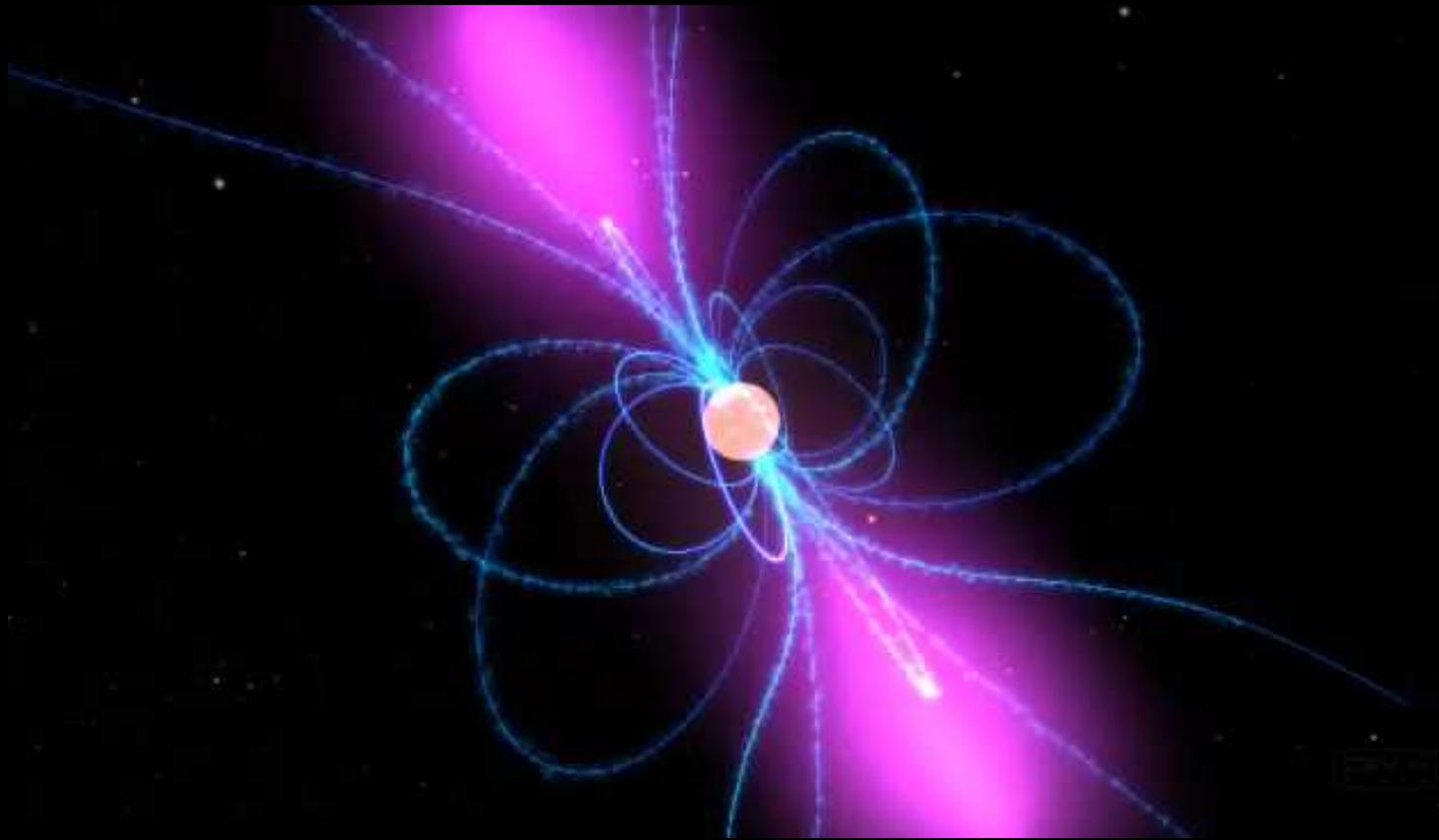


$$M \sim M_{\text{soleil}}$$

$$R \sim 10 \text{ km}$$

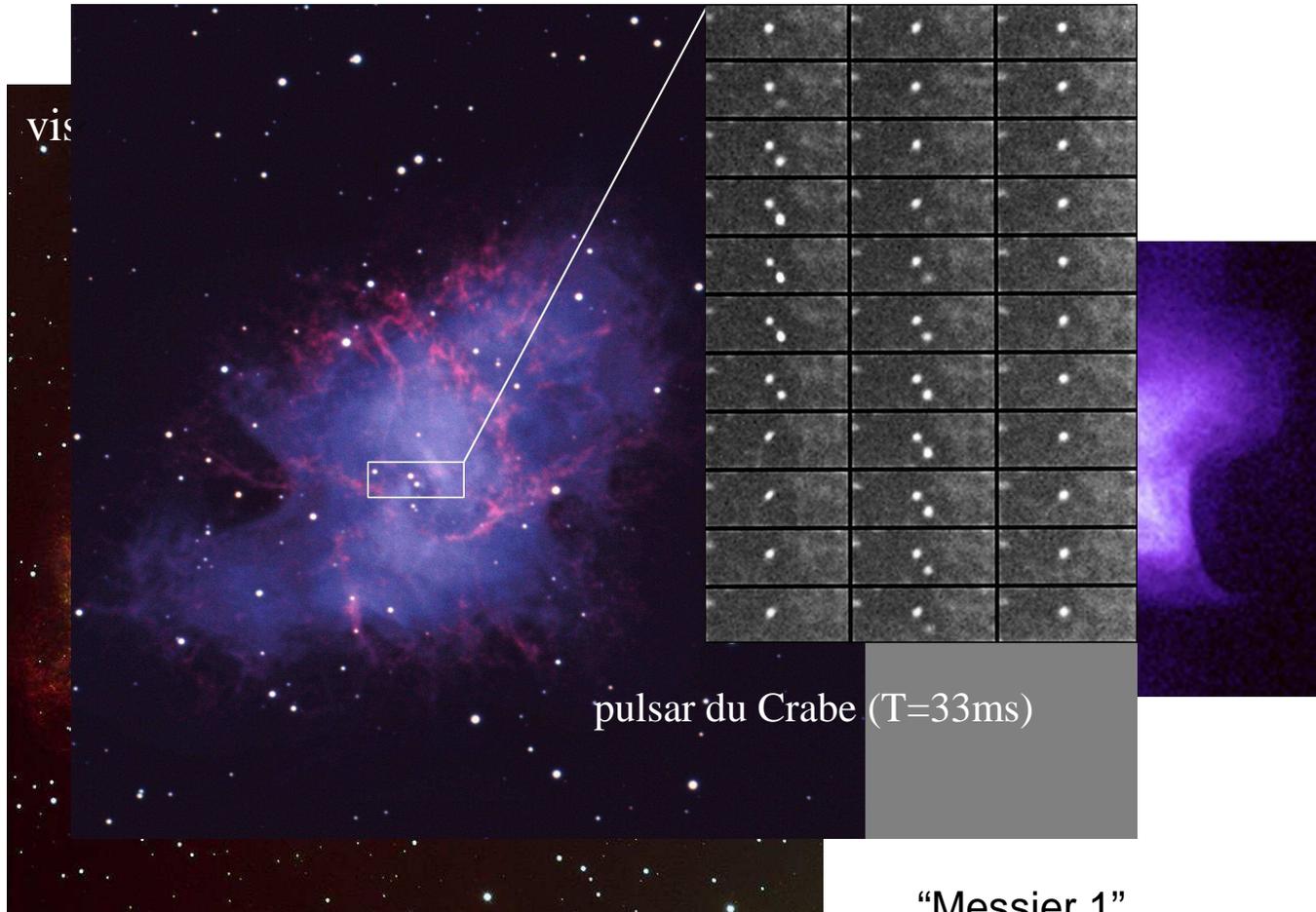
$$\rho \sim 10^{15} \text{ kg/l}$$

$$B = 10^{12} \text{ G}$$



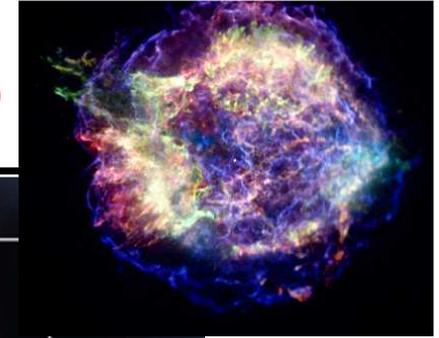
# La nébuleuse du Crabe

(reste de supernova, nébuleuse de pulsar)



“Messier 1”  
explosion le 4 Juillet 1054  
distance: 6300 années lumière

## Restes de supernova (en coquille)

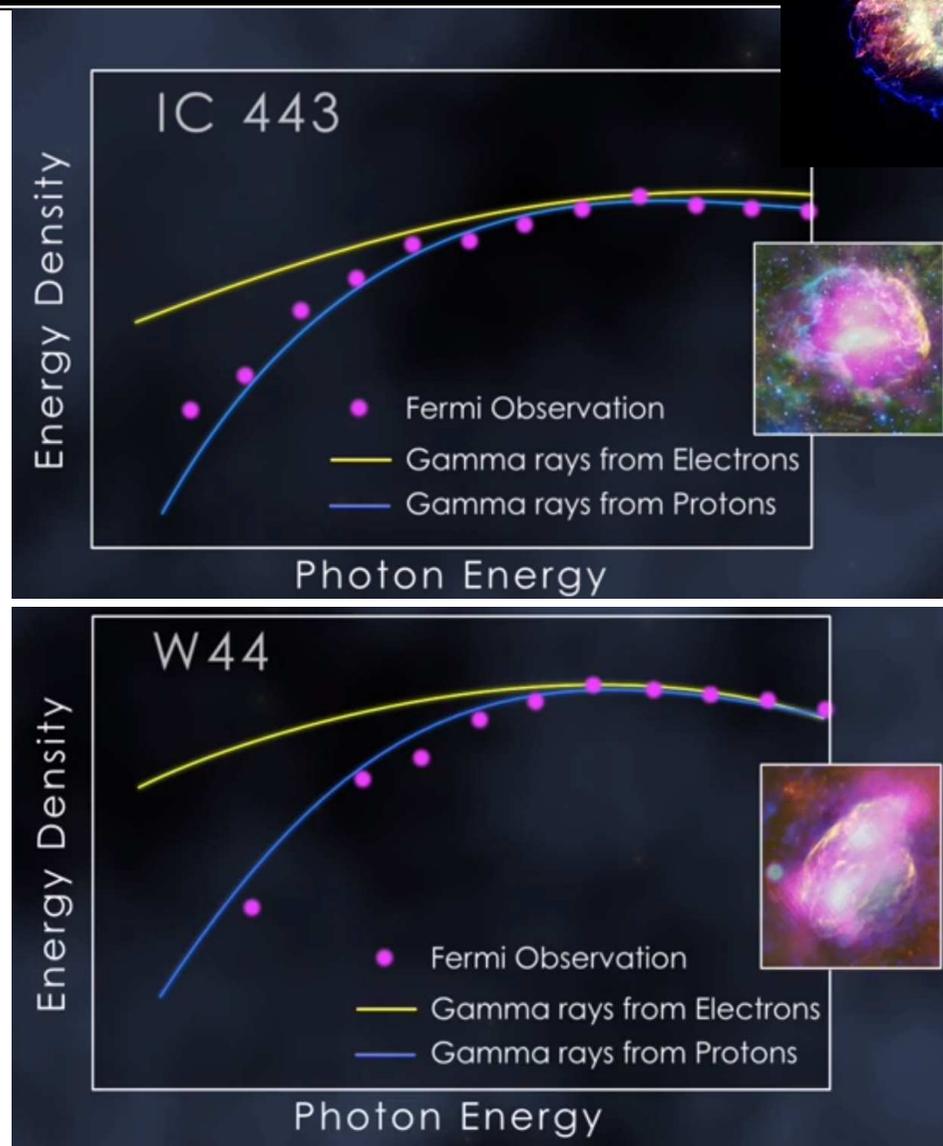


Sites supposés d'accélération  
des rayons cosmiques  
Galactiques

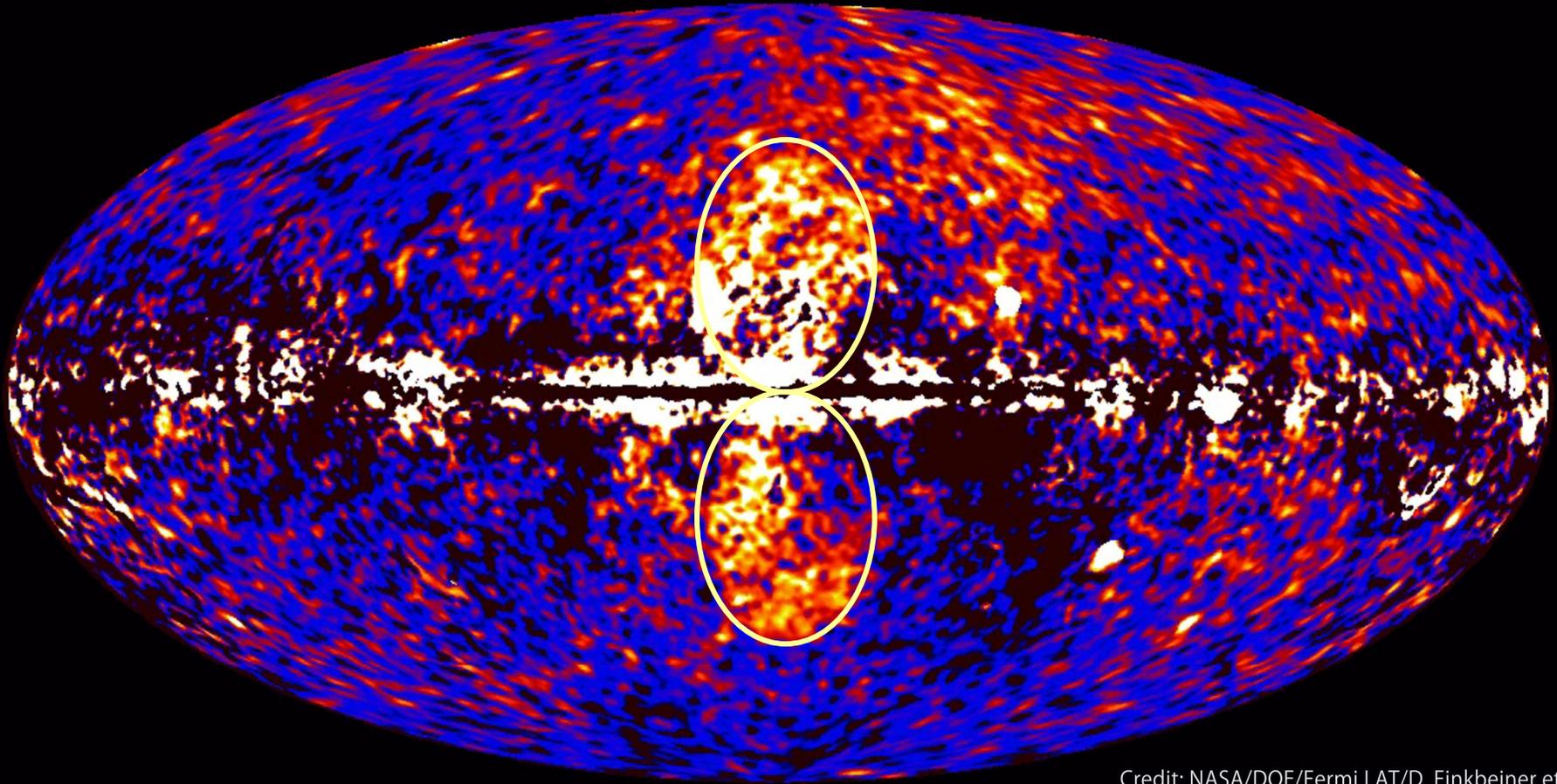
Émetteurs en gamma  
→ accélérateurs cosmiques  
mais électrons ou protons?

Spectres gamma de Fermi  
→ protons!

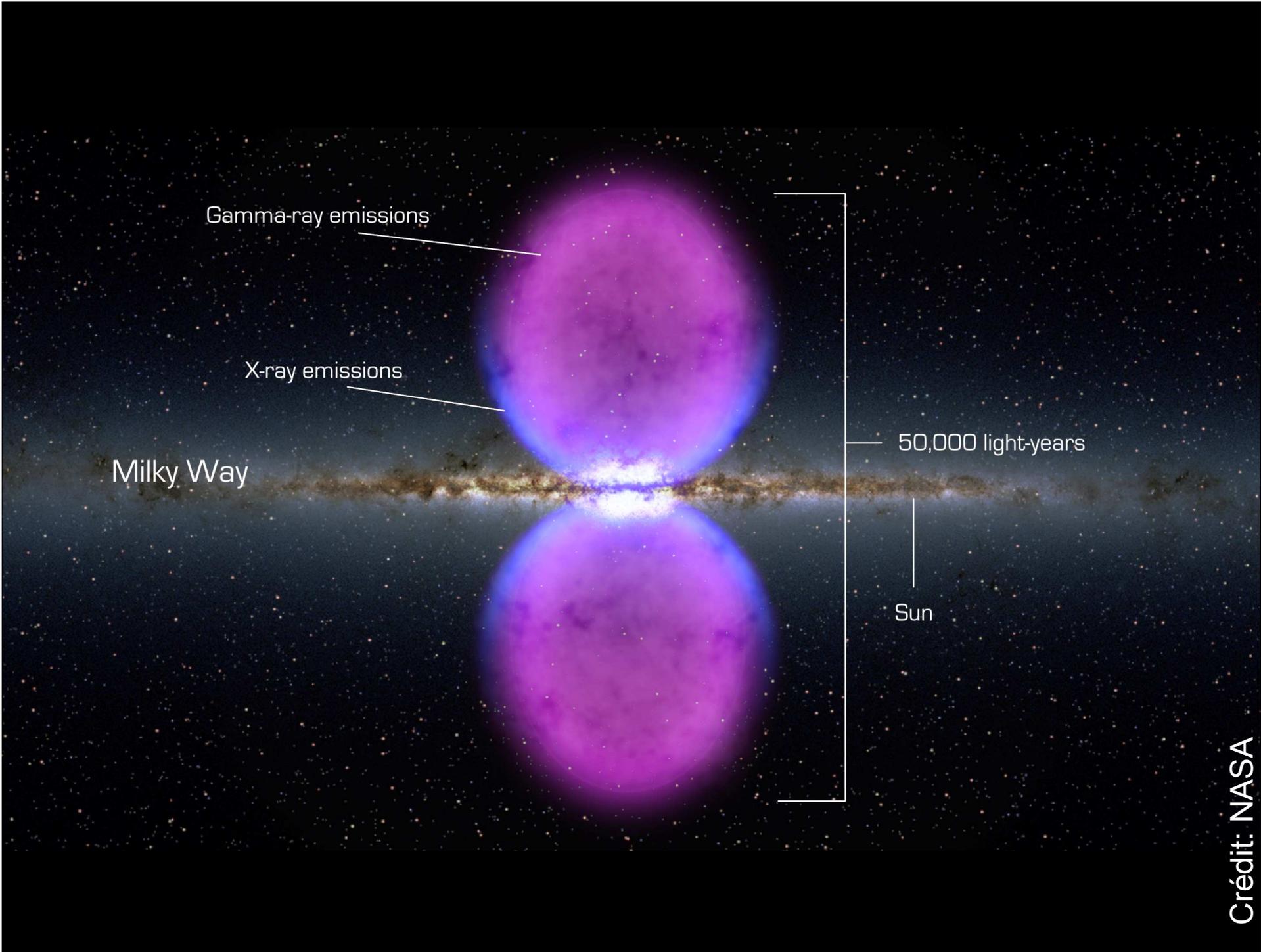
Un des 10 résultats  
scientifiques majeurs de  
2013 pour la revue  
Science.

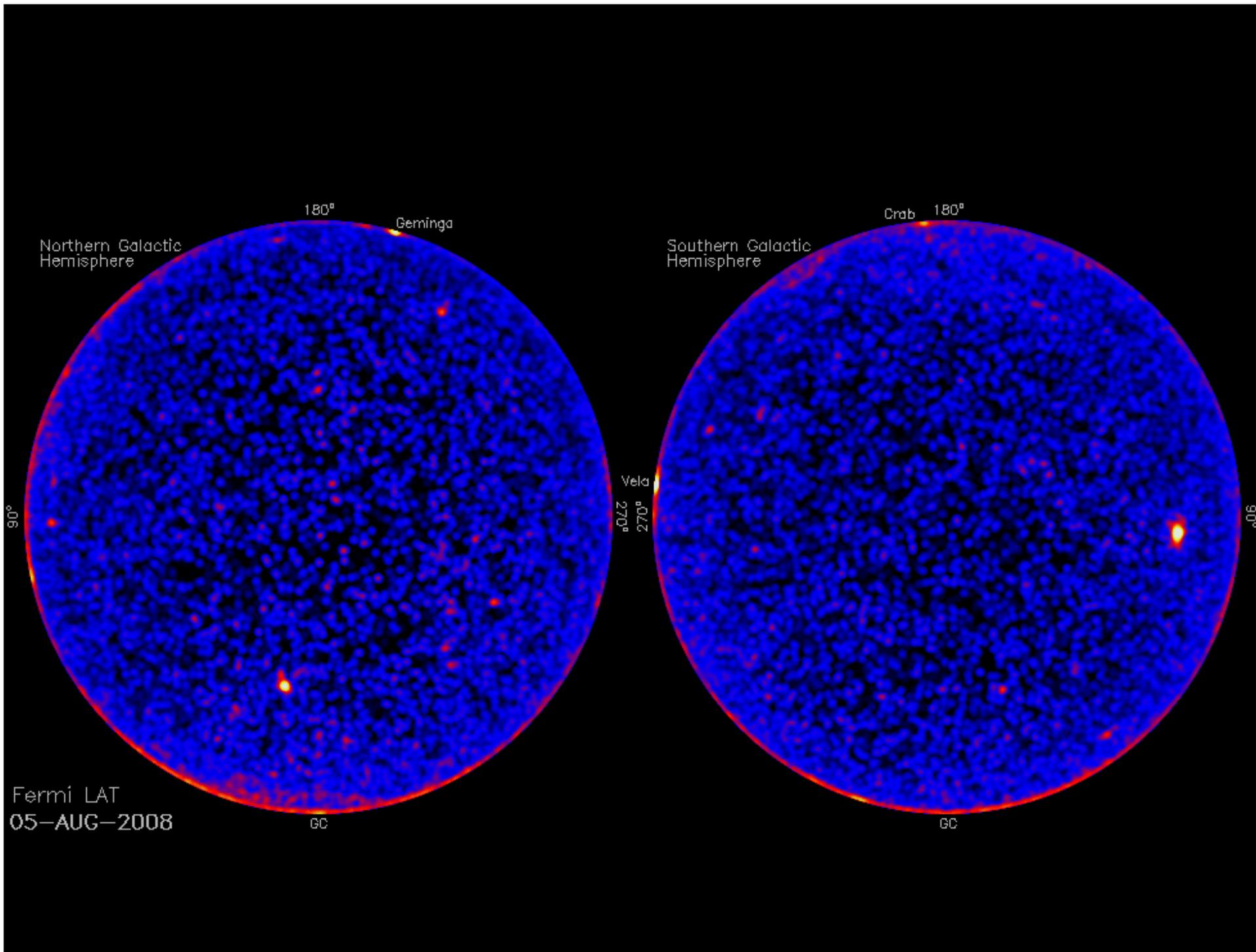


# Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles



Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.





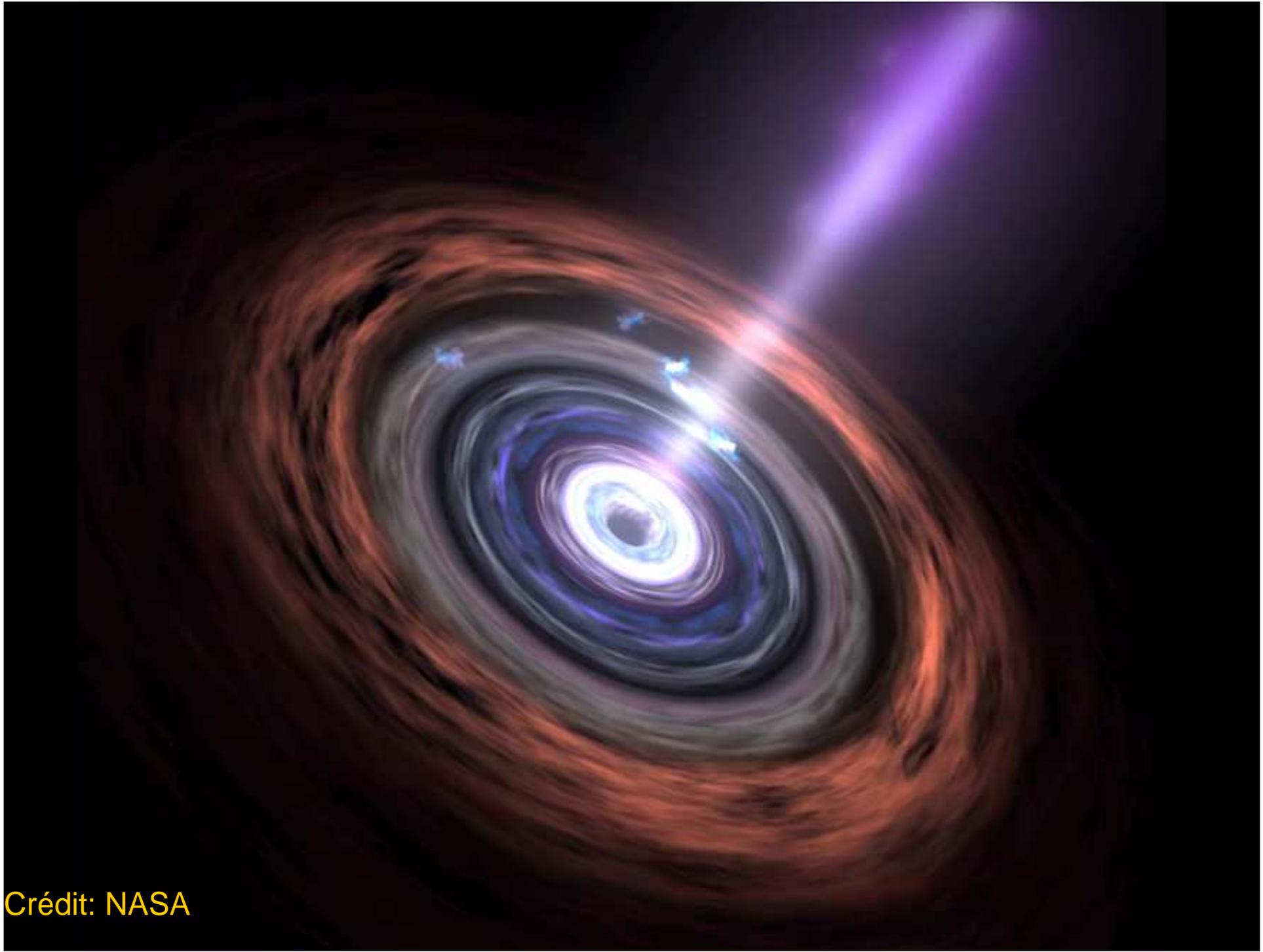


Centaurus A Radio Galaxy (VLT KUEYEN + FORS2)

ESO PR Photo 05b/00 (8 February 2000)

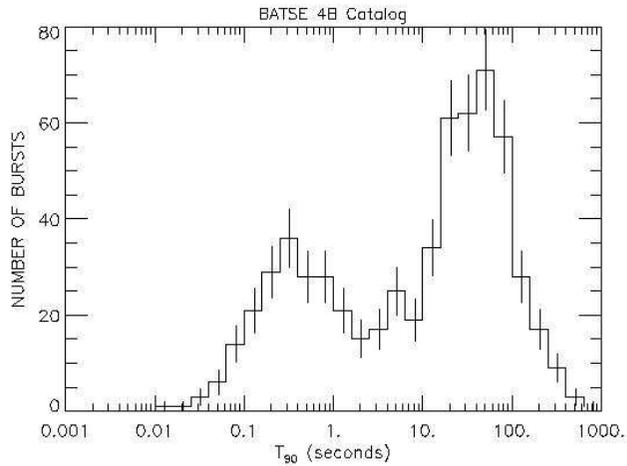
© European Southern Observatory



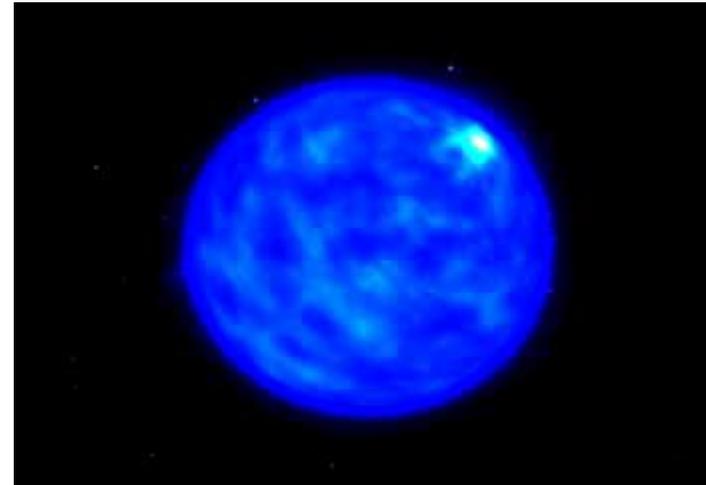


Crédit: NASA

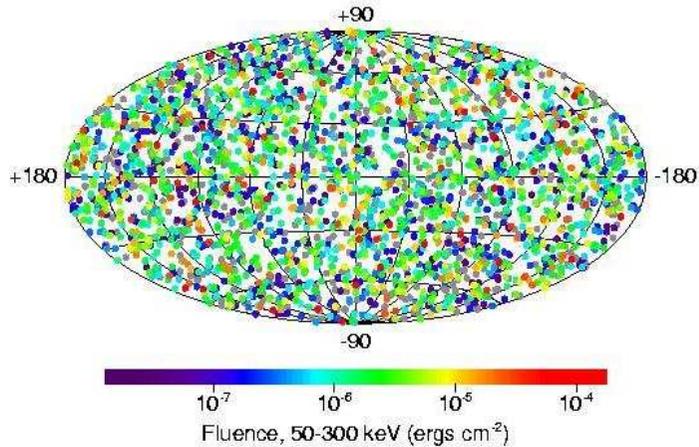
# Sursauts gamma



longs: hypernova/collapsar



2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



courts: coalescence d'objets compacts



# Spécificités des données du Fermi-LAT



- **publiques** (ainsi que tous les outils d'analyse)
- couvrant **tout le ciel** toutes les **3 heures**
- beaucoup de sources, très **variées** (mais toutes étant le siège **d'accélération de particules**) et pour une majorité **variables**
- assez **faciles à comprendre** (simple liste de paramètres de photons: coordonnées dans le ciel, énergie, date de détection...)
- disponibles **rapidement** (moins de 12 heures)
- très bonnes **documentation** (avec tutoriaux et multiples services à l'utilisateur: assistance « helpdesk », blogs...)
- ont donné lieu à beaucoup de **communiqués/articles** dans la presse

# COSMAX: « COSmic ACCelerators »

---



Site: <http://www.cenbg.in2p3.fr/COSMAX-les-accelerateurs-cosmiques>  
Permettre à des non-spécialistes d'observer le ciel en rayons gamma (« l'Univers violent »), en direct ou en différé

Ciel gamma très changeant (blazars, sursauts gamma, Soleil, novae, nébuleuse du Crabe....)

Utilisation des mêmes outils que la communauté scientifique et (potentiellement) simultanément avec elle.

Machine virtuelle VMware Linux à installer sous Windows *ou* suite d'outils à utiliser directement sous Linux

4 étapes:

- Installer VMware <http://www.vmware.com>
- Installer la machine virtuelle <ftp://www.cenbg.in2p3.fr/astropart/VM/sl5.7z>
- Télécharger les données
- Utiliser les données (ascension droite, déclinaison, temps+ énergie)



NEWS  
News, features & press releases

MISSIONS  
Current, future, past missions & launch dates

MULTIMEDIA  
Images, videos, NASA TV & more

CONTACT  
Social media channels & NASA apps

ABOUT NASA  
Leadership, organization, budget, careers & more

Search

NASA Home > Missions > Fermi Gamma-ray Space Telescope > News

Send Print Share

## Missions

### Missions Highlights

#### Current Missions

Current Missions

Fermi Gamma-ray Space Telescope

Science

Launch

Multimedia

Spacecraft and Instruments

Team

News and Media

#### Past Missions

#### Future Missions

#### Launch Schedule

#### Mission Calendar

# Fermi

Fermi Gamma-ray Space Telescope

## Feature

Text Size + -

### Fermi Sees Brightest-Ever Blazar Flare

12.08.09

A galaxy located billions of light-years away is commanding the attention of NASA's Fermi Gamma-ray Space Telescope and astronomers around the globe. Thanks to a series of flares that began September 15, the galaxy is now the brightest source in the gamma-ray sky -- more than ten times brighter than it was in the summer.

Astronomers identify the object as 3C 454.3, an active galaxy located 7.2 billion light-years away in the constellation Pegasus. But even among active galaxies, it's exceptional.

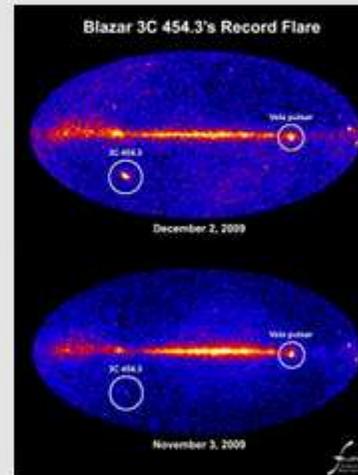
"We're looking right down the barrel of a particle jet powered by the galaxy's supermassive black hole," said Gino Tosti at the National Institute of Nuclear Physics in Perugia, Italy. "Some change within that jet -- we don't know what -- is likely responsible for these flares."

Blazars, like many active galaxies, emit oppositely directed jets of particles traveling near the speed of light when matter falls toward their central supermassive black holes. What makes a blazar so bright in gamma rays is its orientation: One of the jets happens to be aimed straight at us.

Most of the time, the brightest persistent source in the gamma-ray sky is the Vela pulsar, which at a distance of about 1,000 light-years lies practically next door.

"3C 454.3 is millions of times farther away, yet the current flare makes it twice as bright as Vela," said Lise Escande at the Center for Nuclear Studies in Gradignan, near Bordeaux, France. "That represents an incredible energy release, and one the source can't sustain for very long."

According to Massimo Villata at Italy's Torino Observatory, 3C 454.3 also



Unprecedented flares from the blazar 3C 454.3 in the constellation Pegasus now make it the brightest persistent gamma-ray source in the sky. That title usually goes to the Vela pulsar in our galaxy, which is millions of times closer. These all-sky images, which show the numbers of high-energy gamma-rays captured by Fermi's Large Area Telescope on December 3 and November 18, clearly show the change. Credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

[Larger image](#)  
[Unlabeled image](#)

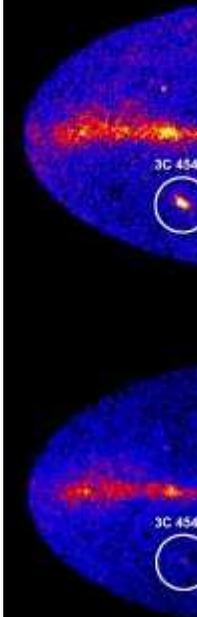
Kamis, 10 Desember  
Fermi Ga

(KeSimpulan  
Telescope d  
sekarang me

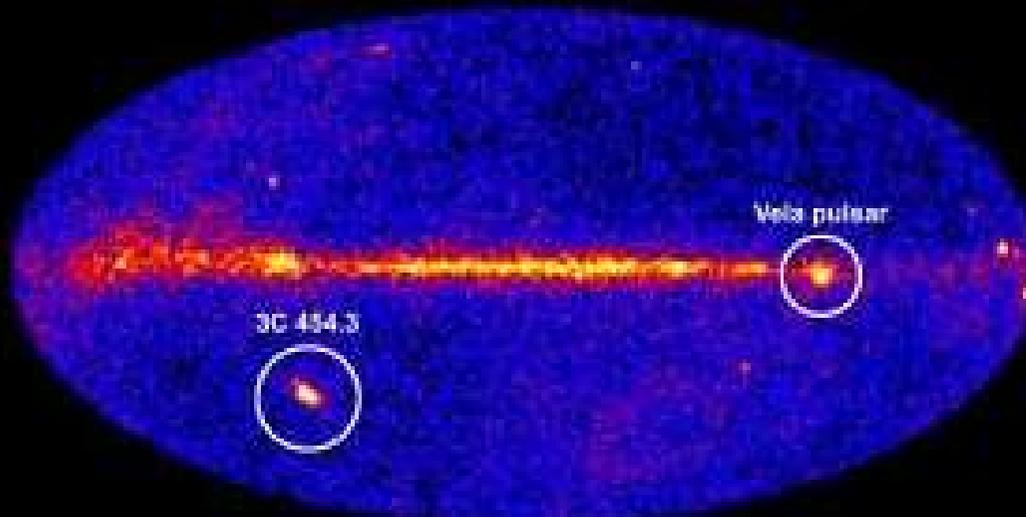
Astrofisikaw  
konstelasi P  
didukung ole  
jawab untuk

Blazars, sep  
cahaya keti  
gamma adal  
waktu (palir  
tahun cahay

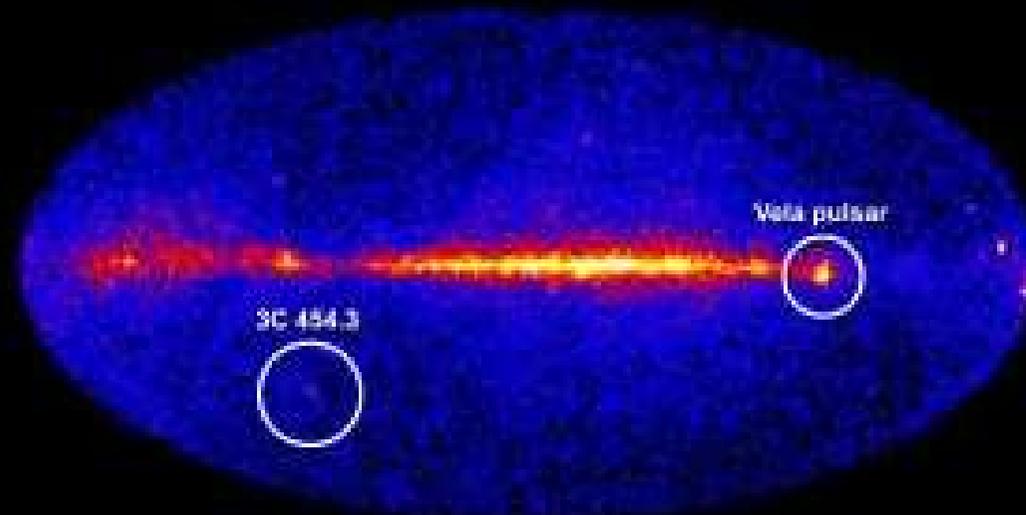
**Blazar**



# Blazar 3C 454.3's Record Flare



December 2, 2009



November 3, 2009



**Pegasus**

Gamma-ray Space  
Telescope, galaksi  
panas.

tahun cahaya di  
sinar jet partikel  
in bertanggung

kati kecepatan  
cahaya di sinar  
Bebagian besar  
sekitar 1.000

dua kali flares  
dan salah satu  
for Nuclear

juga flare para  
cahaya merah  
untuk besarnya  
"

aga memantau  
kemungkinan.  
di di dalam jet

# Télécharger les données

---



Les données sont stockés dans des fichiers hebdomadaires.  
Les temps sont exprimés en MET (Mission Elapsed Time)

> Date\_to\_MET heure minute seconde jour mois année

Exemple

> Date\_to\_MET 0 0 0 16 9 2008

*2008-09-16 00:00:00*

*MET: 243216000*

*semaine: 15*

Le fichier de données de la semaine xxx est téléchargé par

> fetch xxx

sous fits\_file/lat\_photon\_weekly\_wxxx\_p130\_v001\_filt.fits

On peut récupérer les données de la semaine actuelle avec la commande:

>fetch current

Fichier des données du satellite (pour calculer l'exposition):

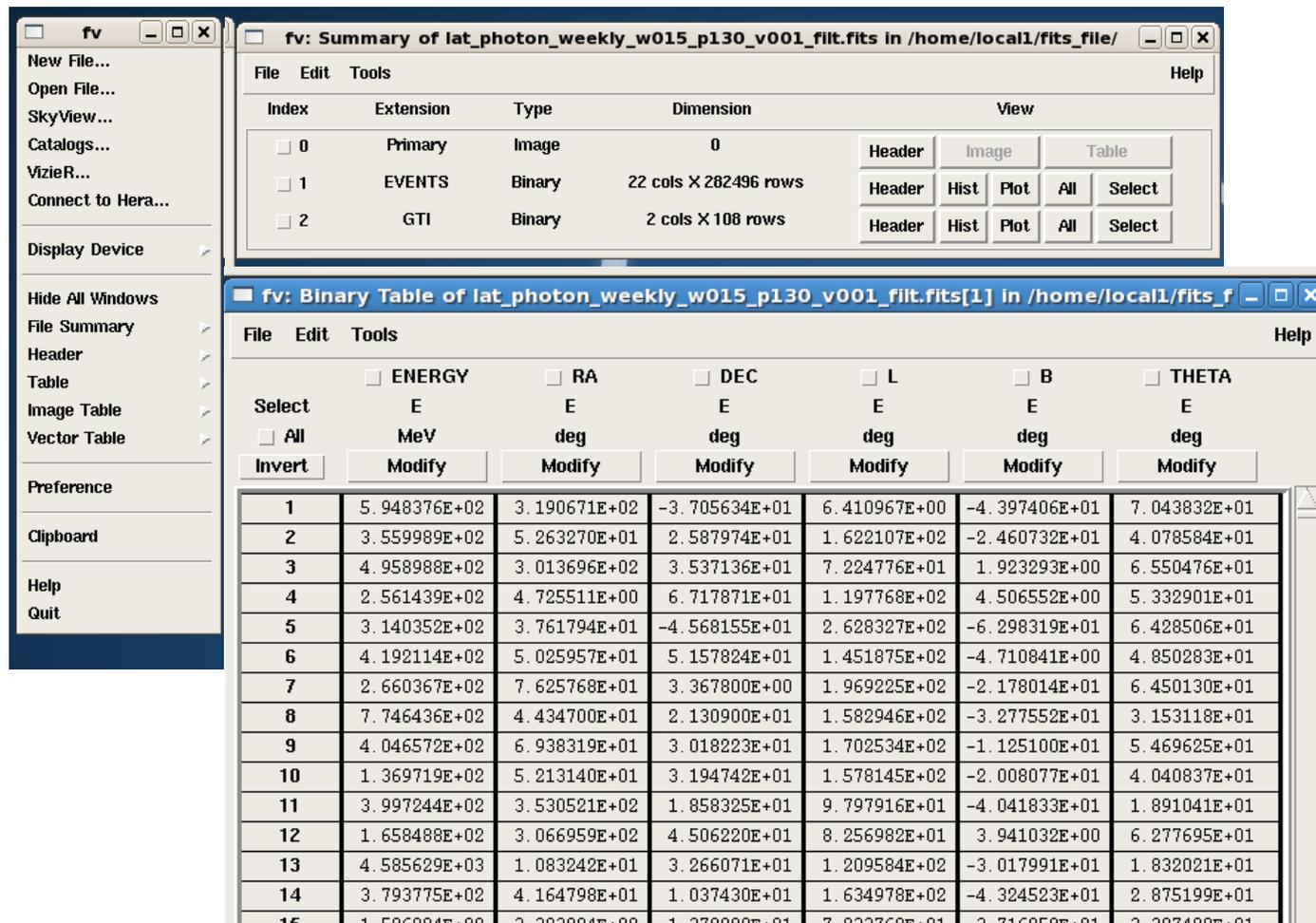
> fetch\_sat xxx

# Exploration des données



Ouvrir un des fichiers de données hebdomadaires avec le programme fv (fits viewer)

➤ fv fits\_file/lat\_photon\_weekly\_w015\_p130\_v001\_filt.fits



The screenshot shows the fv (fits viewer) interface. The top window displays a summary of the file 'lat\_photon\_weekly\_w015\_p130\_v001\_filt.fits'. The bottom window shows a detailed view of a binary table with columns for ENERGY, RA, DEC, L, B, and THETA.

Index	Extension	Type	Dimension	View
<input type="checkbox"/> 0	Primary	Image	0	Header Image Table
<input type="checkbox"/> 1	EVENTS	Binary	22 cols X 282496 rows	Header Hist Plot All Select
<input type="checkbox"/> 2	GTI	Binary	2 cols X 108 rows	Header Hist Plot All Select

Select	ENERGY	RA	DEC	L	B	THETA
<input type="checkbox"/> All	E	E	E	E	E	E
<input type="checkbox"/> Invert	MeV	deg	deg	deg	deg	deg
	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify
1	5.948376E+02	3.190671E+02	-3.705634E+01	6.410967E+00	-4.397406E+01	7.043832E+01
2	3.559989E+02	5.263270E+01	2.587974E+01	1.622107E+02	-2.460732E+01	4.078584E+01
3	4.958988E+02	3.013696E+02	3.537136E+01	7.224776E+01	1.923293E+00	6.550476E+01
4	2.561439E+02	4.725511E+00	6.717871E+01	1.197768E+02	4.506552E+00	5.332901E+01
5	3.140352E+02	3.761794E+01	-4.568155E+01	2.628327E+02	-6.298319E+01	6.428506E+01
6	4.192114E+02	5.025957E+01	5.157824E+01	1.451875E+02	-4.710841E+00	4.850283E+01
7	2.660367E+02	7.625768E+01	3.367800E+00	1.969225E+02	-2.178014E+01	6.450130E+01
8	7.746436E+02	4.434700E+01	2.130900E+01	1.582946E+02	-3.277552E+01	3.153118E+01
9	4.046572E+02	6.938319E+01	3.018223E+01	1.702534E+02	-1.125100E+01	5.469625E+01
10	1.369719E+02	5.213140E+01	3.194742E+01	1.578145E+02	-2.008077E+01	4.040837E+01
11	3.997244E+02	3.530521E+02	1.858325E+01	9.797916E+01	-4.041833E+01	1.891041E+01
12	1.658488E+02	3.066959E+02	4.506220E+01	8.256982E+01	3.941032E+00	6.277695E+01
13	4.585629E+03	1.083242E+01	3.266071E+01	1.209584E+02	-3.017991E+01	1.832021E+01
14	3.793775E+02	4.164798E+01	1.037430E+01	1.634978E+02	-4.324523E+01	2.875199E+01
15	1.526024E+02	3.283004E+02	1.278288E+01	7.033768E+01	-3.716058E+01	3.207400E+01

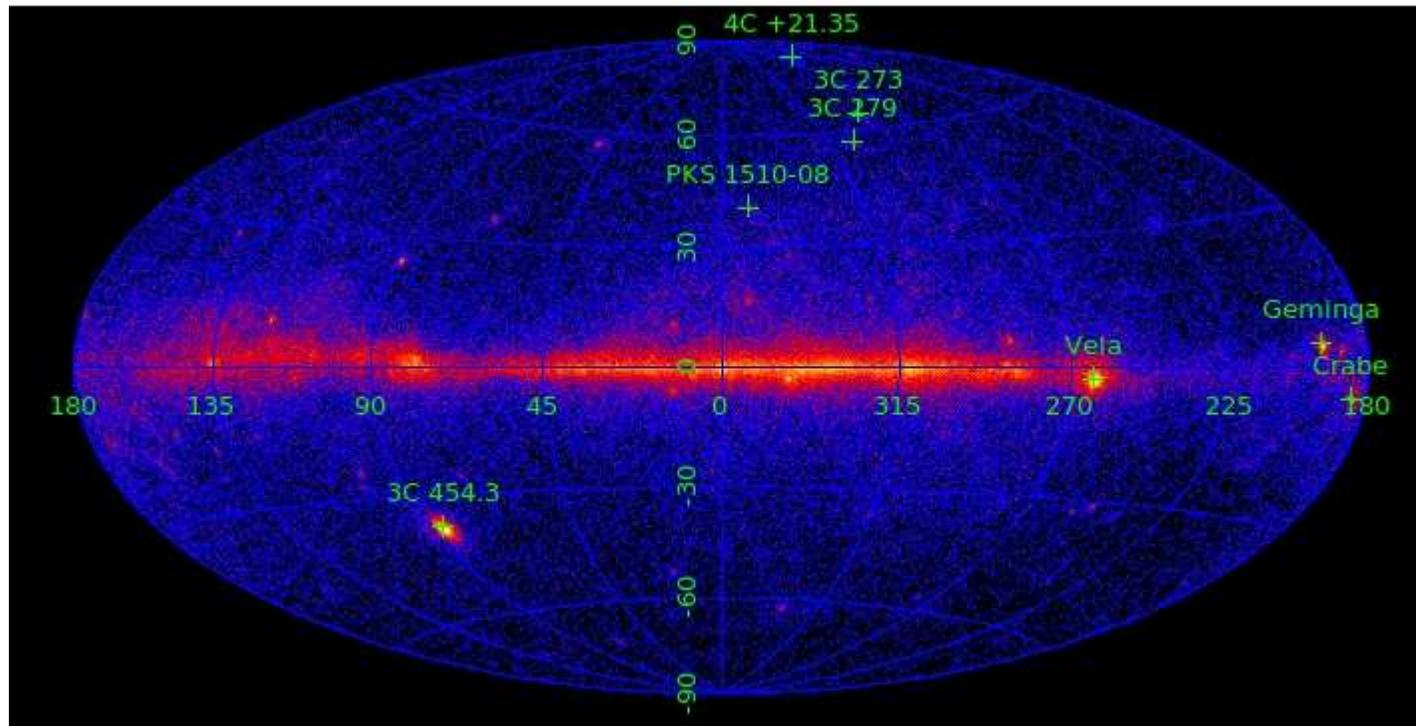
# Créer une carte du ciel



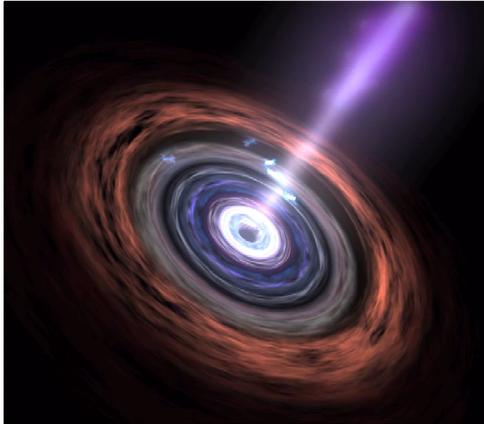
➤ `create_map #semaine (option)`

`option= cel, gal, ait`

`ex semaine 128, ait`

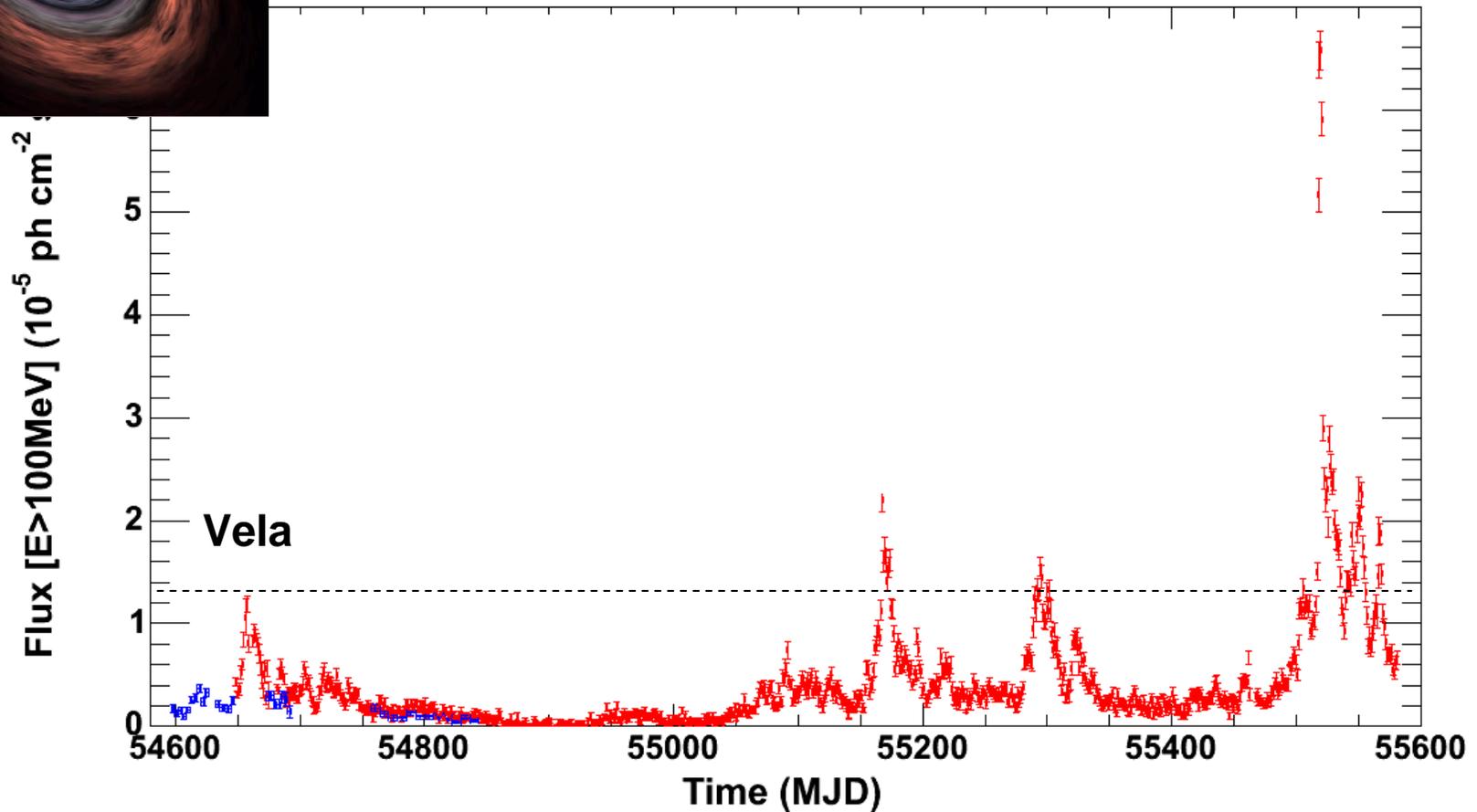


# Le blazar 3C 454.3



**Blazar:** radiogalaxie dont le jet (relativiste) est pointé vers la Terre

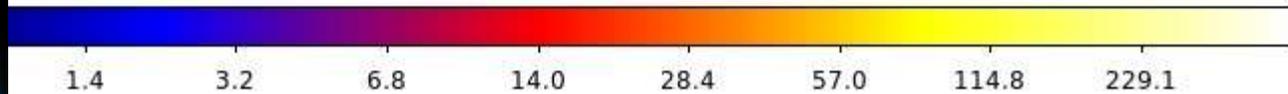
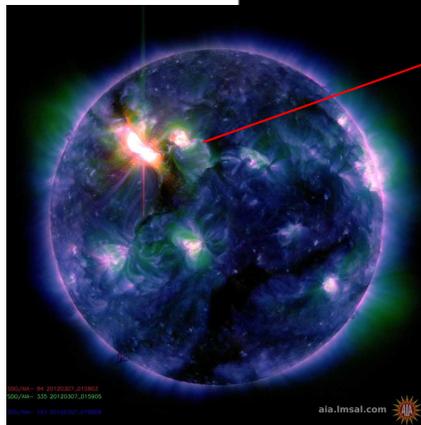
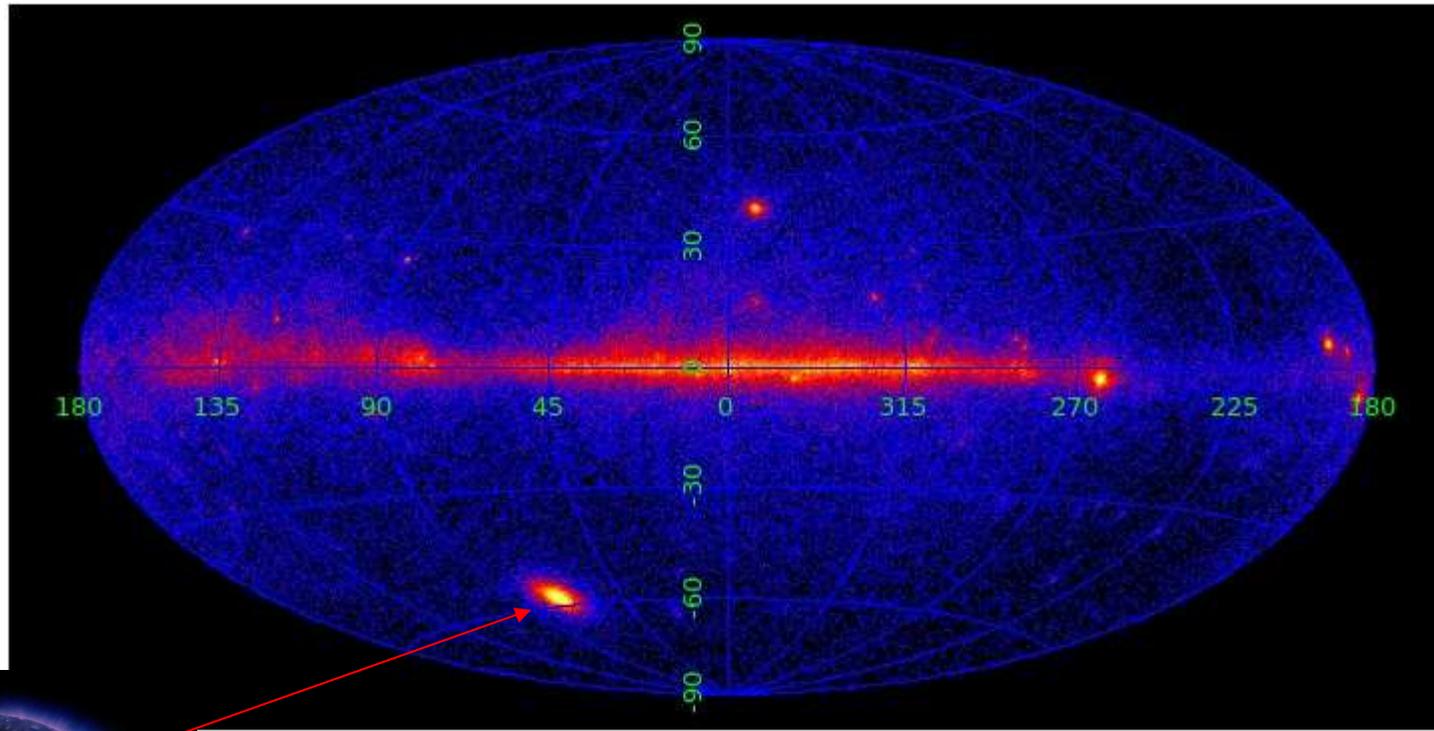
**3C 454.3:** trou noir supemassif  $> 10^9$  masses solaires,  $z=0.859$ ,  $d=7.2$  milliards d'années lumière



# Eruption solaire



Classe X5, le 7 Mars 2012, semaine 196

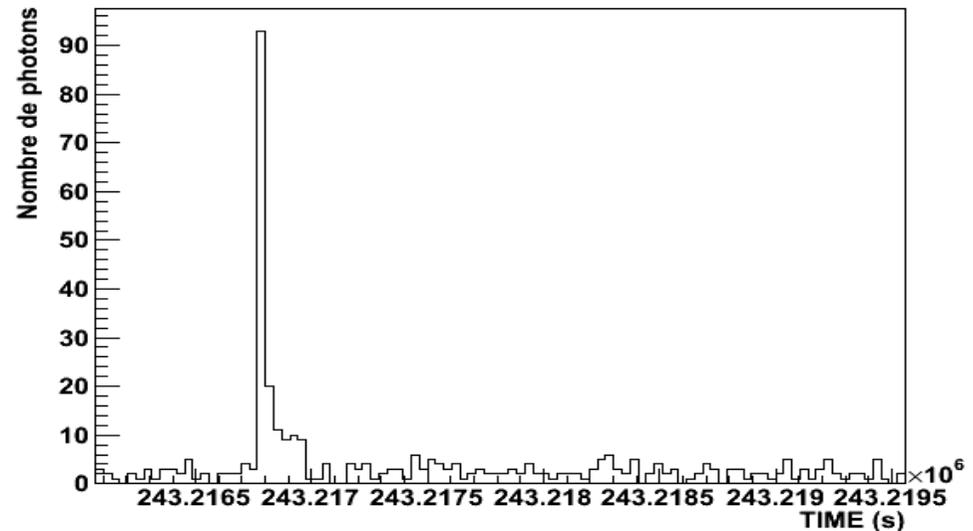


# Créer une carte du ciel avec sélection



- `create_map #semaine opt t_min t_max ra dec r emin emax`
  - temps d'arrivée (MET) compris entre `t_min` et `t_max` (=0, si tous);
  - position, région du ciel centrée sur (RA, DEC) et de rayon `r`;
  - énergie entre `emin` et `emax`, exprimés en MeV.

Ex: sursaut gamma le plus  
brillant jamais observé.  
GRB 080916C (z=4.35)

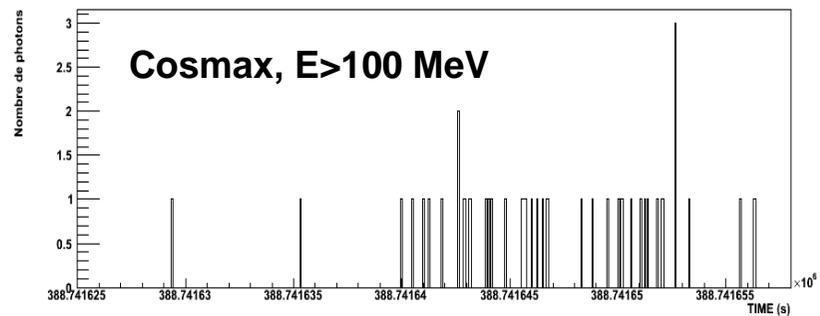
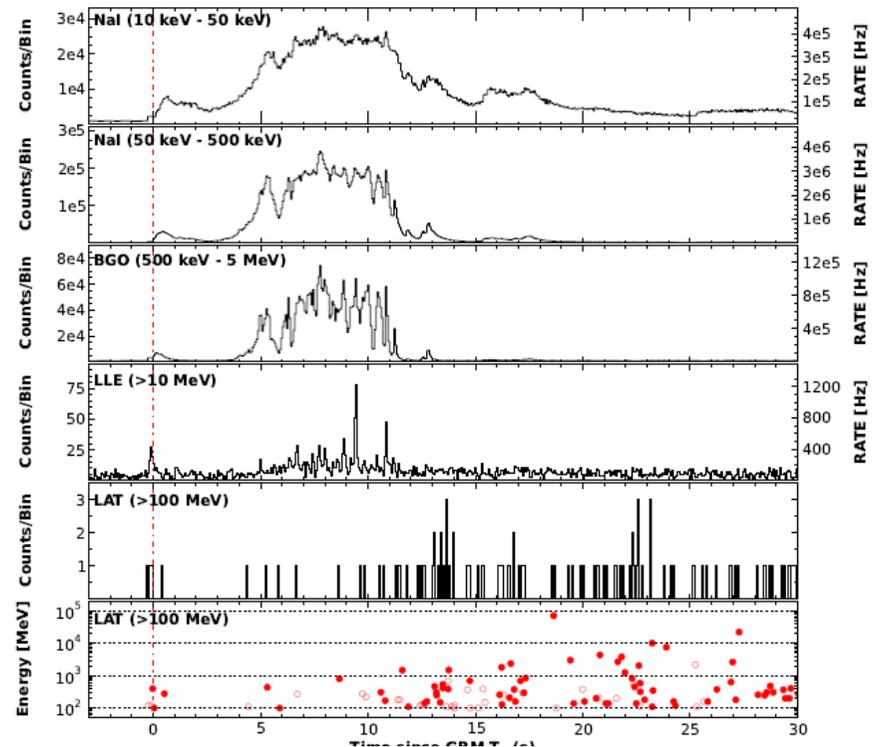


- `hist fits_file/lat_photon_weekly_wxxx_p130_v001_temp.fits TIME`

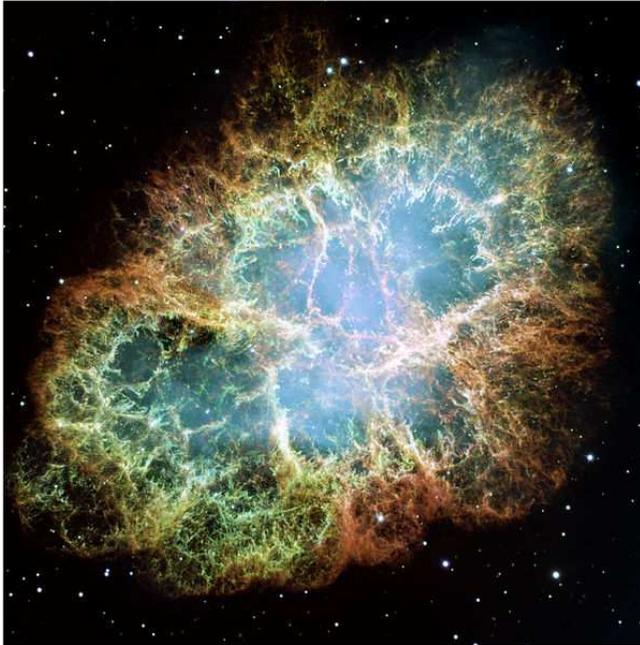
# GRB130427A



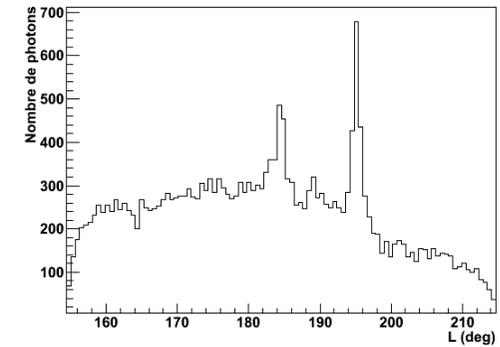
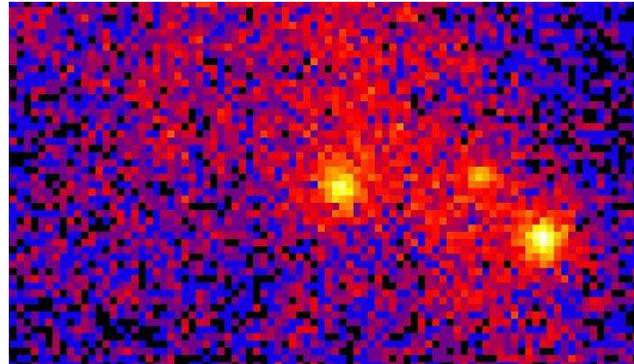
Ackermann et al. 2013, Science



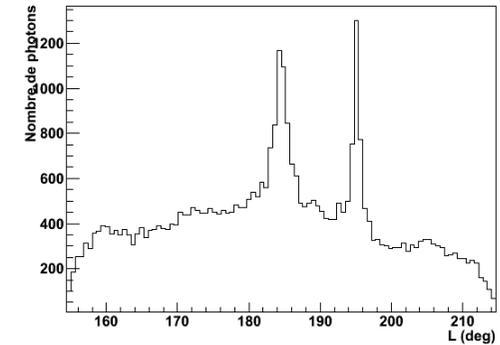
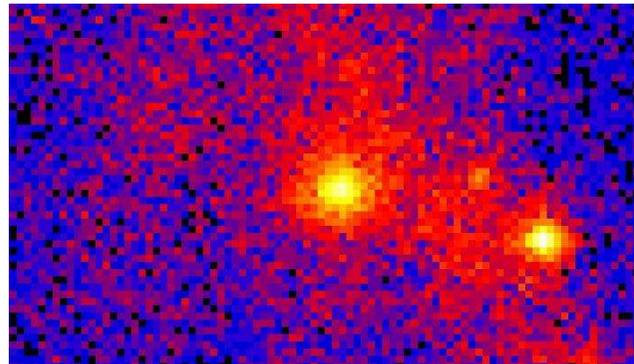
# Nébuleuse du Crabe (M1)



Phase de quiescence (semaine 196)



Phase d'éruption (semaine 248)



*images inversées droite-gauche*

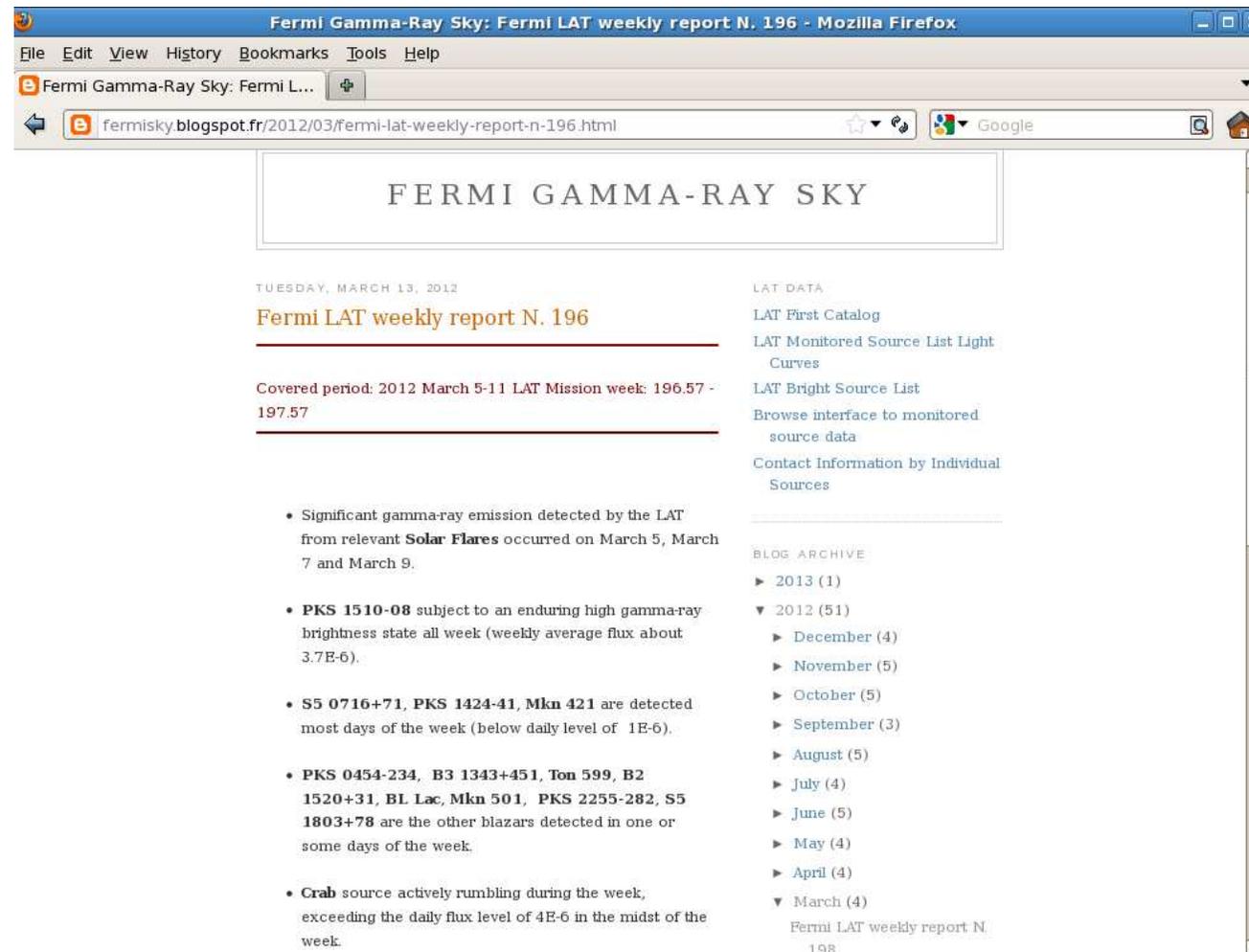
# Utilisation du blog



Pour (presque) chaque semaine, il est possible de consulter quelles sources variables ont été particulièrement actives grâce au « blog de Fermi ».

Ce blog est un service à la communauté scientifique

> blog #semaine



The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window displaying the Fermi LAT weekly report N. 196. The browser's address bar shows the URL `fermisky.blogspot.fr/2012/03/fermi-lat-weekly-report-n-196.html`. The page content includes the title "FERMI GAMMA-RAY SKY" and the date "TUESDAY, MARCH 13, 2012". The main heading is "Fermi LAT weekly report N. 196". Below this, the "Covered period" is listed as "2012 March 5-11" and the "LAT Mission week" as "196.57 - 197.57". A list of significant gamma-ray emissions is provided, including Solar Flares on March 5, 7, and 9, and various blazars such as PKS 1510-08, S5 0716+71, PKS 1424-41, Mkn 421, PKS 0454-234, B3 1343+451, Ton 599, B2 1520+31, BL Lac, Mkn 501, PKS 2255-282, S5 1803+78, and the Crab source. A right-hand sidebar contains links for "LAT DATA" (LAT First Catalog, LAT Monitored Source List Light Curves, LAT Bright Source List, Browse interface to monitored source data, Contact Information by Individual Sources) and a "BLOG ARCHIVE" section listing posts by month for the years 2013 and 2012. The page number "198" is visible at the bottom.

# Flux/luminosité

---



$$\text{Flux} = N_{\text{ph}} / \text{Exposition}$$

$$\text{Luminosité} = 4\pi d^2 E_{\text{moy}} \text{Flux}$$

Exposition exprimée en  $\text{cm}^2\text{s}$ , Flux en  $\text{ph cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , luminosité en W (ou  $\text{erg s}^{-1}$ )

Ex: 3C 454.3  $L=2 \times 10^{50}$  erg/s, Soleil  $L: 4 \times 10^{33}$  erg/s, Voie Lactée:  $8 \times 10^{43}$  erg/s

# Cosmax dans un lycée

---



## Objectifs du projet :

Réalisation d'une exposition multimédia d'une quinzaine de panneaux et de diaporamas réalisés par les élèves autour des thèmes liés au rayonnement cosmique et à l'exploitation des données du satellite Fermi. L'essentiel du travail doit se faire de manière aussi autonome que possible, dans le cadre de l'accompagnement personnalisé.

Les élèves auront à réaliser, seuls ou par groupe de deux, un des diaporamas ou des panneaux de l'exposition.

Ils auront aussi à préparer une mini-conférence d'une durée d'environ 10 minutes, pour présenter aux autres élèves de la classe le sujet sur lequel ils auront travaillé et leur production.

***J. M. Vienney, CLEA, académie de Versailles***

**Thèmes d'étude proposés (liste non exhaustive ...) en relation avec les thèmes du programme :**

Programme	Thème
Propulsion, quantité de mouvement, fusées	Lancement et mise en orbite du satellite Fermi : quelle fusée ?
Mouvement des satellites	Caractéristiques de l'orbite du satellite Fermi : période, vitesse ... Comment suivre un satellite ? Asservir son orientation ?
Détecteurs de particules	Structure et fonctionnement du LAT (détecteur de Fermi) Comment fonctionne un détecteur de particules de haute énergie Comment reconstruire la trajectoire des particules dans le détecteur ? Fluorescence et échanges matière-rayonnement
Mécanique quantique	Onde, particule, ou objet quantique ? Interaction du rayonnement gamma avec la matière Mécanismes
Relativité restreinte	Particules de haute énergie et relativité restreinte Production et détection des muons dans la haute atmosphère
Communications	Numérisation et transmission des données Réseau de communication et de suivi d'un satellite
Horloge atomique et GPS	Comment dater précisément les événements ? Localiser le satellite ?
Cosmologie	Sources de rayonnement de haute énergie dans l'Univers Mécanismes d'accélération des particules Blasars, Quasars Supernova et pulsar Trous noirs supermassifs et AGN (noyaux actifs de galaxie)
Exploitation des données	Suivi hebdomadaire de l'ensemble du ciel Suivi de l'activité et du mouvement du Soleil Suivi temporel de l'activité d'une source Spectre d'énergie d'une source.
Bilans énergétiques	Alimentation en énergie du satellite, bilans, rendements Fonctionnement des panneaux solaires

# Conclusions

---



- COSMAX donne accès à l'observation du ciel gamma à toute personne intéressée, en temps réel ou différé
- Tout retour est le bienvenu pour améliorer les fonctionnalités, la documentation, la convivialité...

MERCI!