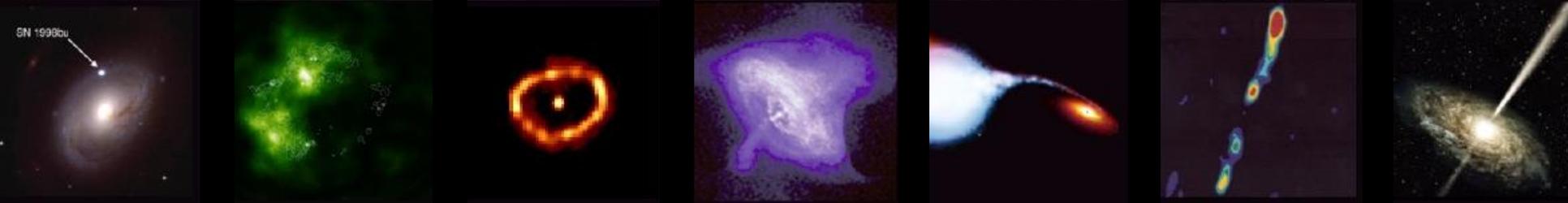


# L'astronomie des rayons gamma

## Projet COSMAX

Benoît Lott / Denis Dumora

Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan



# 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

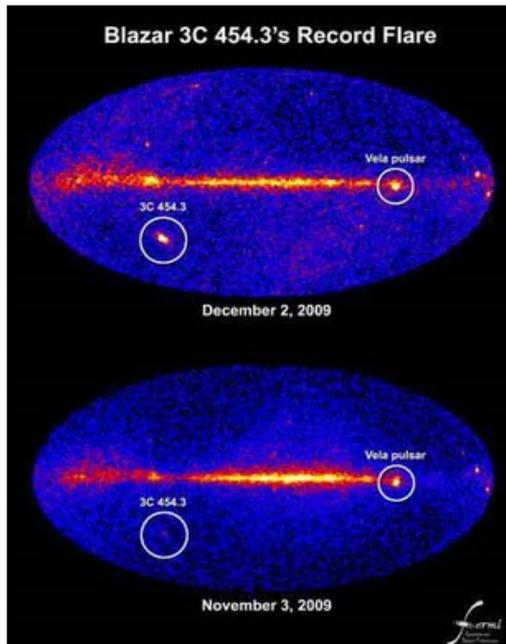
Kamis, 10 Desember 2009

## Fermi Gamma-ray Tangkap Objek Galaksi Aktif 3C454.3 jarak 7,2 miliar tc di Konstelasi Pegasus

(KeSimpulan) Sebuah galaksi terletak miliaran tahun cahaya menjadi fokus perhatian oleh NASA's Fermi Gamma-ray Space Telescope dan astronom dan fisikawan di seluruh dunia. Berkat serangkaian flares yang dimulai pada 15 September, galaksi sekarang menjadi sumber terang di langit sinar gamma, lebih dari sepuluh kali lebih terang dibanding pada di musim panas.

Astrofisikawan mengidentifikasi objek sebagai 3C 454.3 yaitu sebuah galaksi aktif yang terletak sejauh 7,2 miliar tahun cahaya di konstelasi Pegasus. Tetapi bahkan di antara galaksi-galaksi aktif, ini luar biasa. "Kami sedang mencari di ujung laras jet partikel didukung oleh galaksi lubang hitam supermasif. Beberapa perubahan di dalam jet, kita tidak tahu apa yang mungkin bertanggung jawab untuk flares ini," kata Gino Tosti dari National Institute of Nuclear Physics di Perugia, Italy.

Blazars, seperti banyak galaksi-galaksi aktif, memancarkan hingga mengarahkan perjalanan partikel jet mendekati kecepatan cahaya ketika masalah utama mereka jatuh ke lubang hitam supermasif. Apa yang membuat sebuah blazar begitu cerah di sinar gamma adalah orientasi salah satu peristiwa jet yang kebetulan ditunjukkan langsung ditangkap oleh astronom. Sebagian besar waktu (paling terang sumber yang terus-menerus pada sinar gamma langit adalah pulsar Vela) yang pada jarak sekitar 1.000 tahun cahaya praktis terletak pada lokasi ruang yang lain.



"3C 454.3 adalah jutaan kali lebih jauh, namun saat ini menjadi dua kali flares seterang Vela. Ini merupakan pelepasan energi yang luar biasa dan salah satu sumber tidak dapat bertahan lama," kata Lise Escande di Center for Nuclear Studies di Gradignan, dekat Bordeaux, Perancis.

Menurut Massimo Villata di Torino Italia Observatorium, 3C 454.3 juga flare para radio penampakan panjang gelombang, jika kurang dramatis. "Di cahaya merah pada blazar diterangkan oleh lebih dari dua atau setengah kali untuk besarnya magnitude 13,7 dan juga sangat cerah pada frekuensi radio tinggi."

Tim Fermi mempersiapkan para astrofisikawan untuk siap siaga memantau peristiwa tersebut sebagai luas rentang panjang gelombang segala kemungkinan. "Ini pertaruhanan terbaik kami untuk memahami apa yang terjadi di dalam jet tersebut," kata Tosti.

# COSMAX: « COSmic ACCelerators »

---



Site: <http://www.cenbg.in2p3.fr/COSMAX-les-accelérateurs-cosmiques>

Permettre à des non-spécialistes d'observer le ciel en rayons gamma (« l'Univers violent »), en direct ou en différé

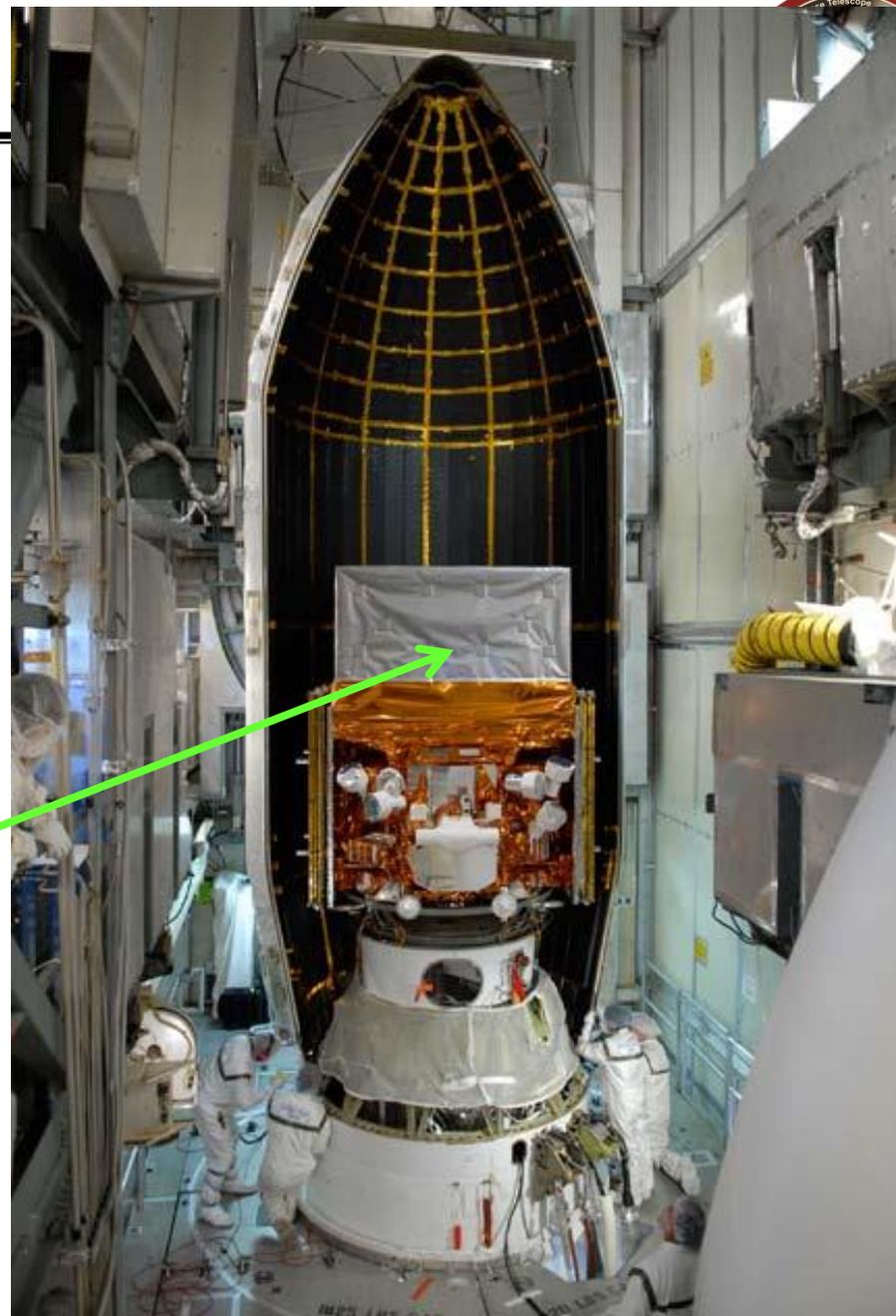
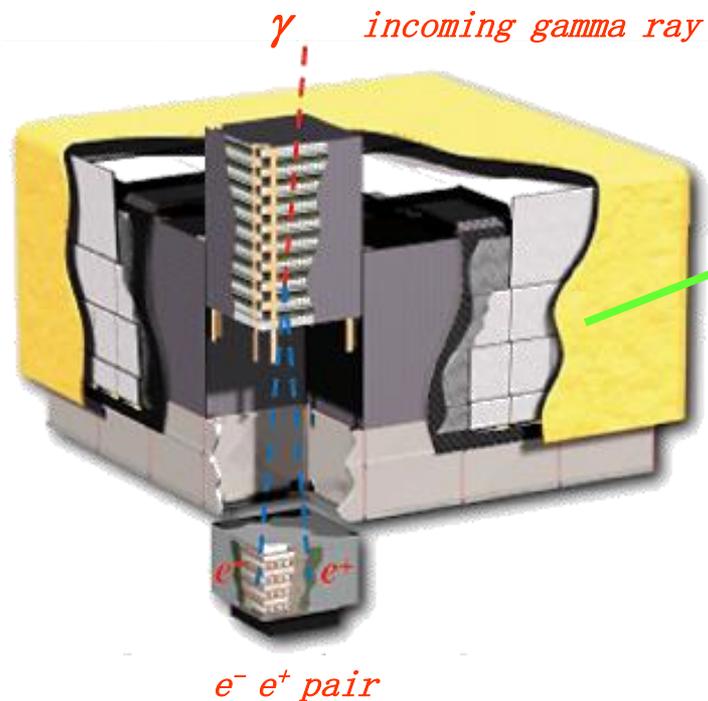
Ciel gamma très changeant (blazars, sursauts gamma, Soleil, novae, nébuleuse du Crabe....)

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

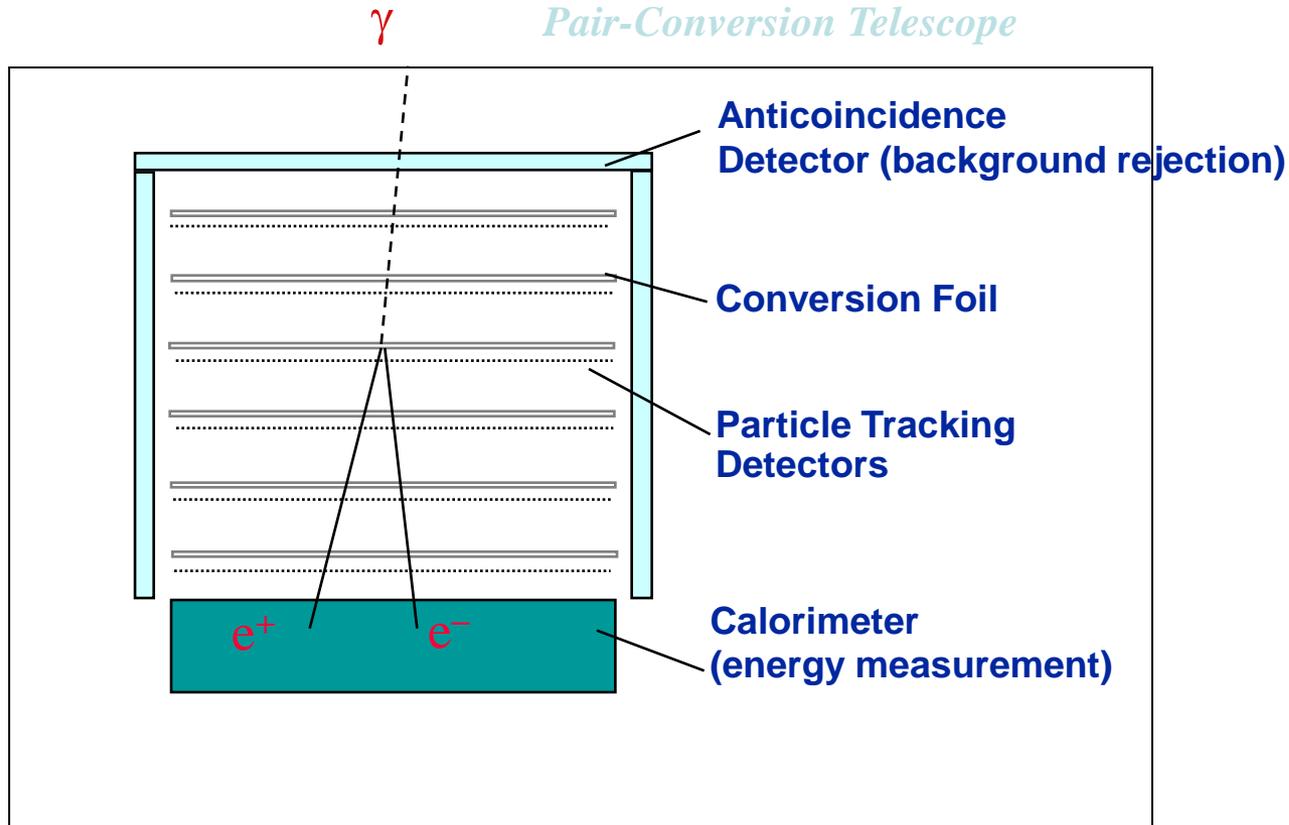
Machine virtuelle VMware Linux à installer sous Windows *ou* suite d'outils à utiliser directement sous Linux

# The Large Area Telescope on board the Fermi satellite

(launch: June 11, 2008)



# Fermi Large Area Telescope (LAT)



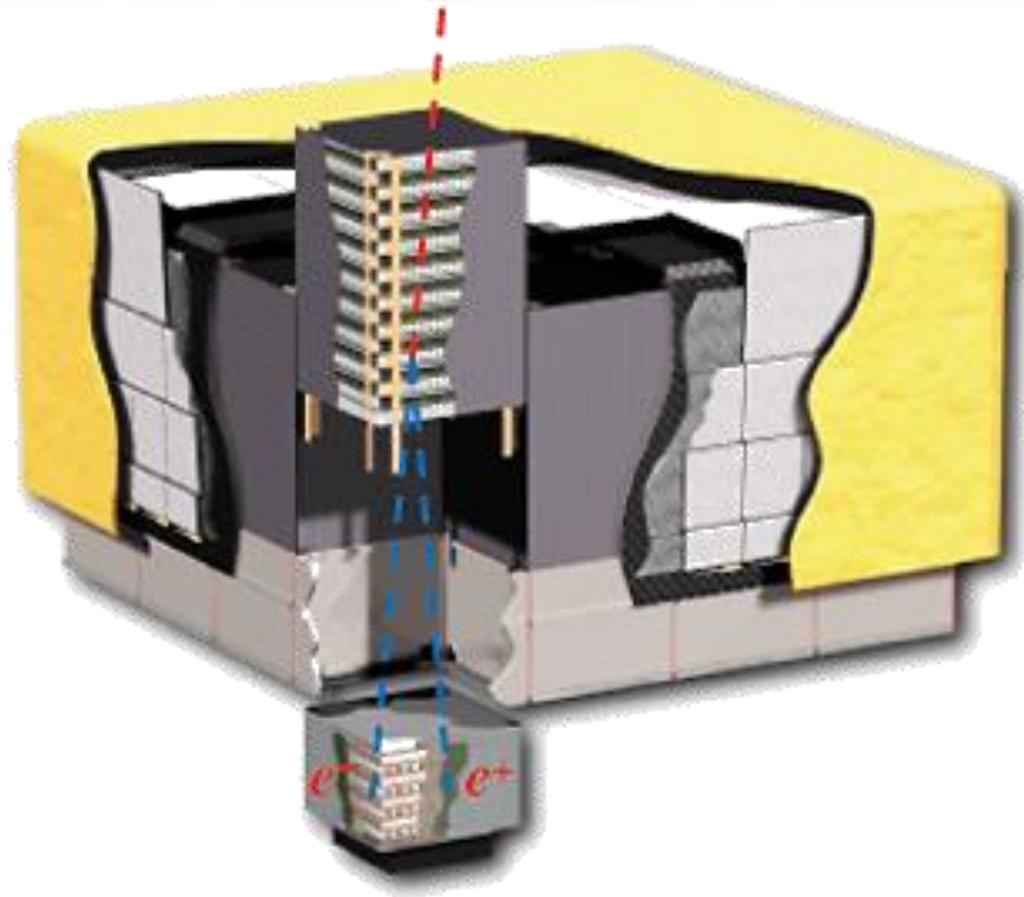
**Les photons gamma interagissent avec la matière par production de paires électron-positon. Le LAT est un détecteur de particules.**

# The Large Area Telescope



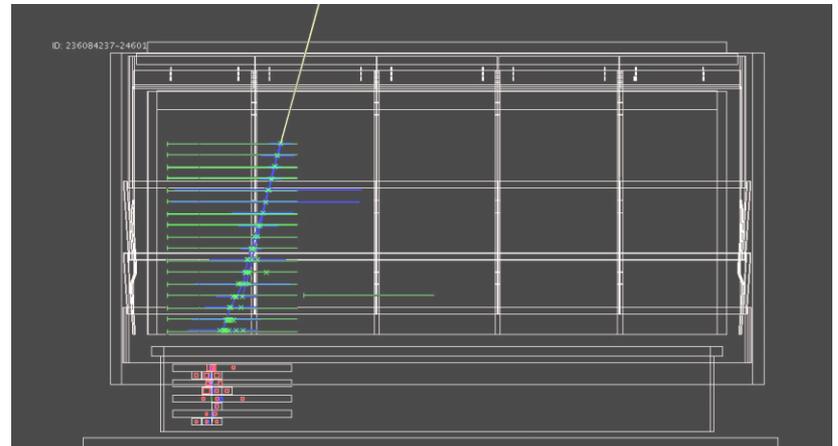
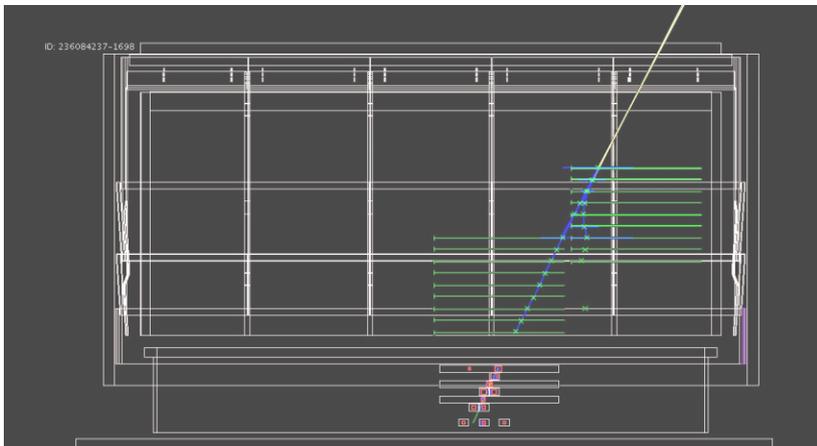
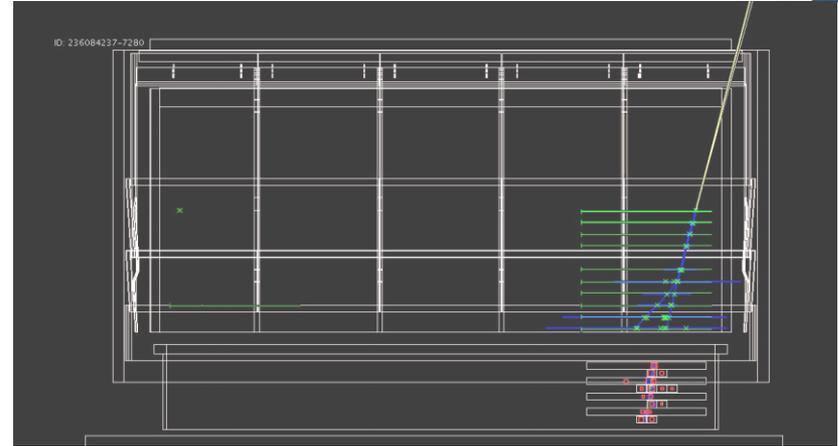
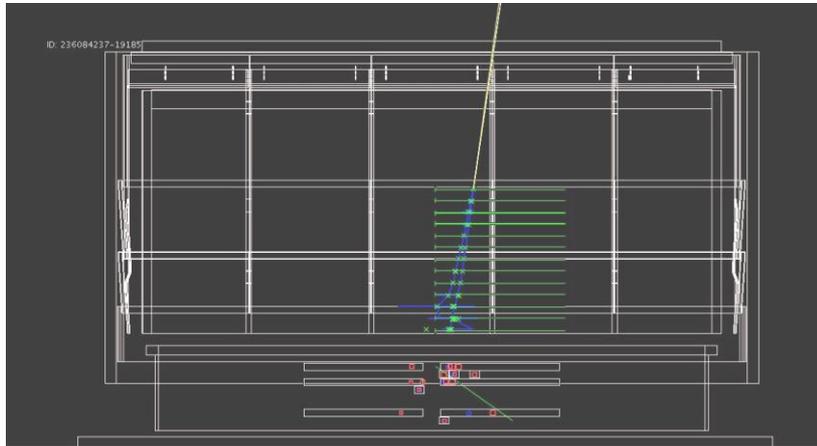
- Détection photon par photon  
Conversion du rayon  $\gamma$  en une paire  
électron-positon ( $E=mc^2$ )
- Taux de détection: 3 photons/s  
Bruit de fond 1000-10000/s
- Champ de vue: 20% de  $4\pi$   
Couvre tout le ciel en 3 heures
- Domaine d'énergie: 30 MeV-300 GeV
- surface effective:  $\sim 1 \text{ m}^2$
- 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 ( $n(E) \propto E^{-\nu}$ )

# Photons gamma dans le LAT



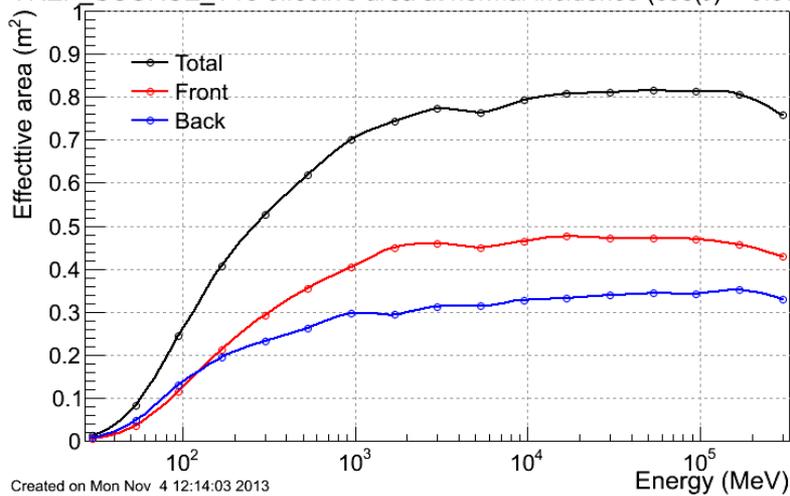
*Les croix vertes indiquent les positions détectées des particules chargées, les lignes bleues indiquent les trajectoires reconstruites à partir des traces, et la ligne jaune montre la direction estimée du photon gamma. Les croix rouges indiquent les dépôts d'énergie détectés dans le calorimètre.*

# LAT performance



[http://www-glast.slac.stanford.edu/software/IS/glast\\_lat\\_performance.htm](http://www-glast.slac.stanford.edu/software/IS/glast_lat_performance.htm)

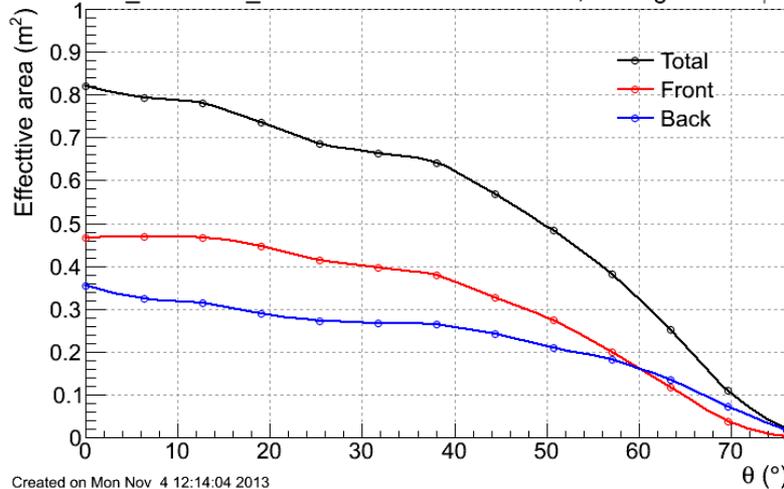
P7REP\_SOURCE\_V15 effective area at normal incidence ( $\cos(\theta) > 0.975$ )



Created on Mon Nov 4 12:14:03 2013

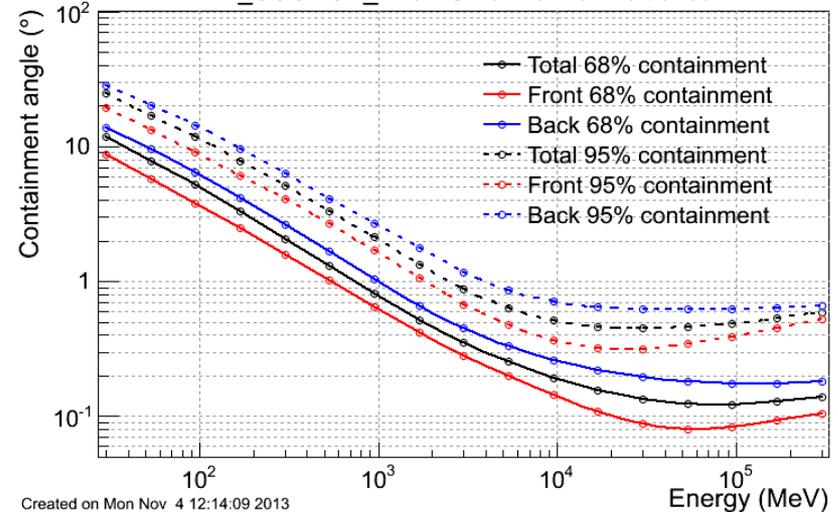
- energy range: 20 - 300 GeV
- large FOV: 2.4 sr
- PSF:  $\theta_{68\%} \sim 0.8^\circ$  at 1 GeV
- $A_{\text{eff}} \sim 8000 \text{ cm}^2$  at 1 GeV
- altitude: 565 km
- inclination:  $25.6^\circ$
- orbital period: 91 min

P7REP\_SOURCE\_V15 effective area at 10 GeV, averaged over  $\phi$

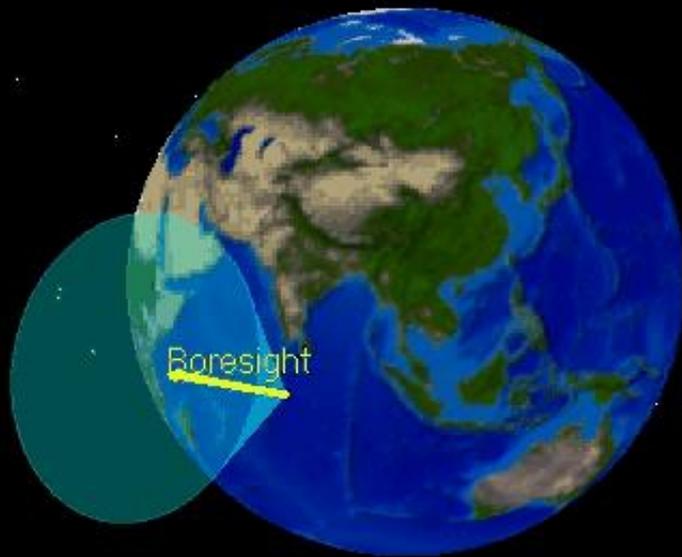


Created on Mon Nov 4 12:14:04 2013

P7REP\_SOURCE\_V15 PSF at normal incidence



Created on Mon Nov 4 12:14:09 2013



Boresight



## Index of /FTP/fermi/data/lat/weekly/photom

<a href="#">Name</a>	<a href="#">Last modified</a>	<a href="#">Size</a>	<a href="#">Description</a>
<a href="#">Parent Directory</a>	-		
<a href="#">lat_photon_weekly_w009_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 15:49	10M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w010_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 16:04	35M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w011_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 16:22	34M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w012_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 16:43	36M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w013_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 16:59	36M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w014_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 17:18	35M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w015_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 17:38	34M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w016_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 17:53	33M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w017_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 18:08	50M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w018_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 18:25	35M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w019_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 18:43	35M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w020_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 18:59	36M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w021_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 19:19	34M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w022_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 19:40	35M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w023_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 19:57	33M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w024_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 20:09	33M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w025_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 20:26	42M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w026_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 20:43	35M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w027_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 21:00	35M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w028_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 21:16	34M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w029_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 21:37	46M	
<a href="#">lat_photon_weekly_w030_p203_v001.fits</a>	21-Apr-2014 21:54	52M	



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 (Windows):

- 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)

3 étapes (Linux)

Télécharger un fichier .tar et ouvrir puis télécharger les données

[ftp://www.cenbg.in2p3.fr/astropart/VM/cosmax\\_linux.tar.gz](ftp://www.cenbg.in2p3.fr/astropart/VM/cosmax_linux.tar.gz)

**Important** Pour avoir la dernière version des outils, taper

➤ update

en ligne de commande

# 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

Les fichiers de données sont stockés par défaut sous le répertoire fits\_file. Un autre répertoire de destination peut être choisi grâce à la variable d'environnement DATAFILE\_DIR.

- setenv DATAFILE\_DIR #repertoire\_de\_destination

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

>fetch current

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

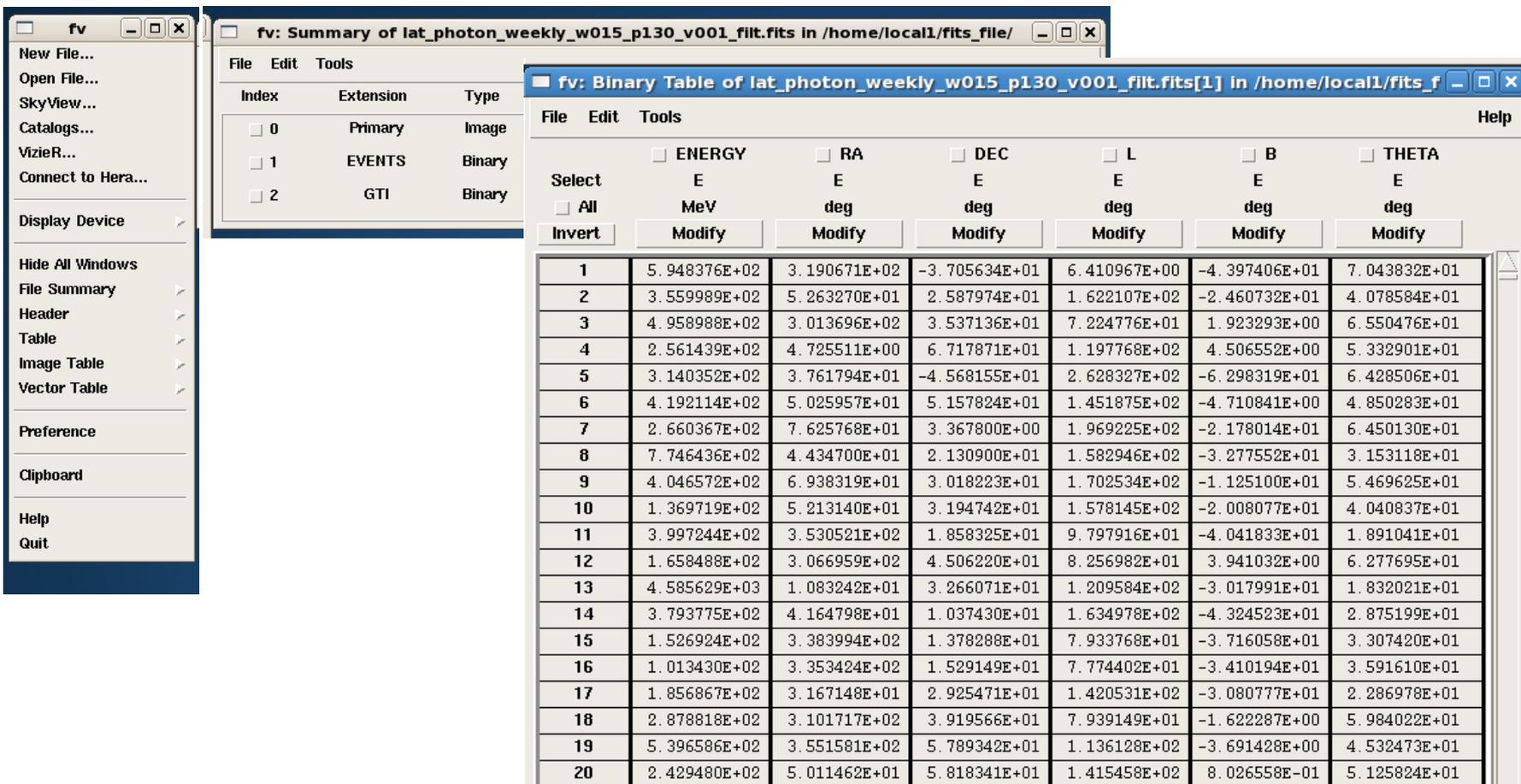
> fetch\_sat xxx

# 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) software interface. The main window displays a binary table of photon data for the file 'lat\_photon\_weekly\_w015\_p130\_v001\_filt.fits'. The table has 7 columns: ENERGY (E), RA (E), DEC (E), L (E), B (E), and THETA (E). The units are MeV, deg, and deg. The table contains 20 rows of data, indexed from 1 to 20.

Select	ENERGY E MeV	RA E deg	DEC E deg	L E deg	B E deg	THETA E deg
<input type="checkbox"/>	5.948376E+02	3.190671E+02	-3.705634E+01	6.410967E+00	-4.397406E+01	7.043832E+01
<input type="checkbox"/>	3.559989E+02	5.263270E+01	2.587974E+01	1.622107E+02	-2.460732E+01	4.078584E+01
<input type="checkbox"/>	4.958988E+02	3.013696E+02	3.537136E+01	7.224776E+01	1.923293E+00	6.550476E+01
<input type="checkbox"/>	2.561439E+02	4.725511E+00	6.717871E+01	1.197768E+02	4.506552E+00	5.332901E+01
<input type="checkbox"/>	3.140352E+02	3.761794E+01	-4.568155E+01	2.628327E+02	-6.298319E+01	6.428506E+01
<input type="checkbox"/>	4.192114E+02	5.025957E+01	5.157824E+01	1.451875E+02	-4.710841E+00	4.850283E+01
<input type="checkbox"/>	2.660367E+02	7.625768E+01	3.367800E+00	1.969225E+02	-2.178014E+01	6.450130E+01
<input type="checkbox"/>	7.746436E+02	4.434700E+01	2.130900E+01	1.582946E+02	-3.277552E+01	3.153118E+01
<input type="checkbox"/>	4.046572E+02	6.938319E+01	3.018223E+01	1.702534E+02	-1.125100E+01	5.469625E+01
<input type="checkbox"/>	1.369719E+02	5.213140E+01	3.194742E+01	1.578145E+02	-2.008077E+01	4.040837E+01
<input type="checkbox"/>	3.997244E+02	3.530521E+02	1.858325E+01	9.797916E+01	-4.041833E+01	1.891041E+01
<input type="checkbox"/>	1.658488E+02	3.066959E+02	4.506220E+01	8.256982E+01	3.941032E+00	6.277695E+01
<input type="checkbox"/>	4.585629E+03	1.083242E+01	3.266071E+01	1.209584E+02	-3.017991E+01	1.832021E+01
<input type="checkbox"/>	3.793775E+02	4.164798E+01	1.037430E+01	1.634978E+02	-4.324523E+01	2.875199E+01
<input type="checkbox"/>	1.526924E+02	3.383994E+02	1.378288E+01	7.933768E+01	-3.716058E+01	3.307420E+01
<input type="checkbox"/>	1.013430E+02	3.353424E+02	1.529149E+01	7.774402E+01	-3.410194E+01	3.591610E+01
<input type="checkbox"/>	1.856867E+02	3.167148E+01	2.925471E+01	1.420531E+02	-3.080777E+01	2.286978E+01
<input type="checkbox"/>	2.878818E+02	3.101717E+02	3.919566E+01	7.939149E+01	-1.622287E+00	5.984022E+01
<input type="checkbox"/>	5.396586E+02	3.551581E+02	5.789342E+01	1.136128E+02	-3.691428E+00	4.532473E+01
<input type="checkbox"/>	2.429480E+02	5.011462E+01	5.818341E+01	1.415458E+02	8.026558E-01	5.125824E+01

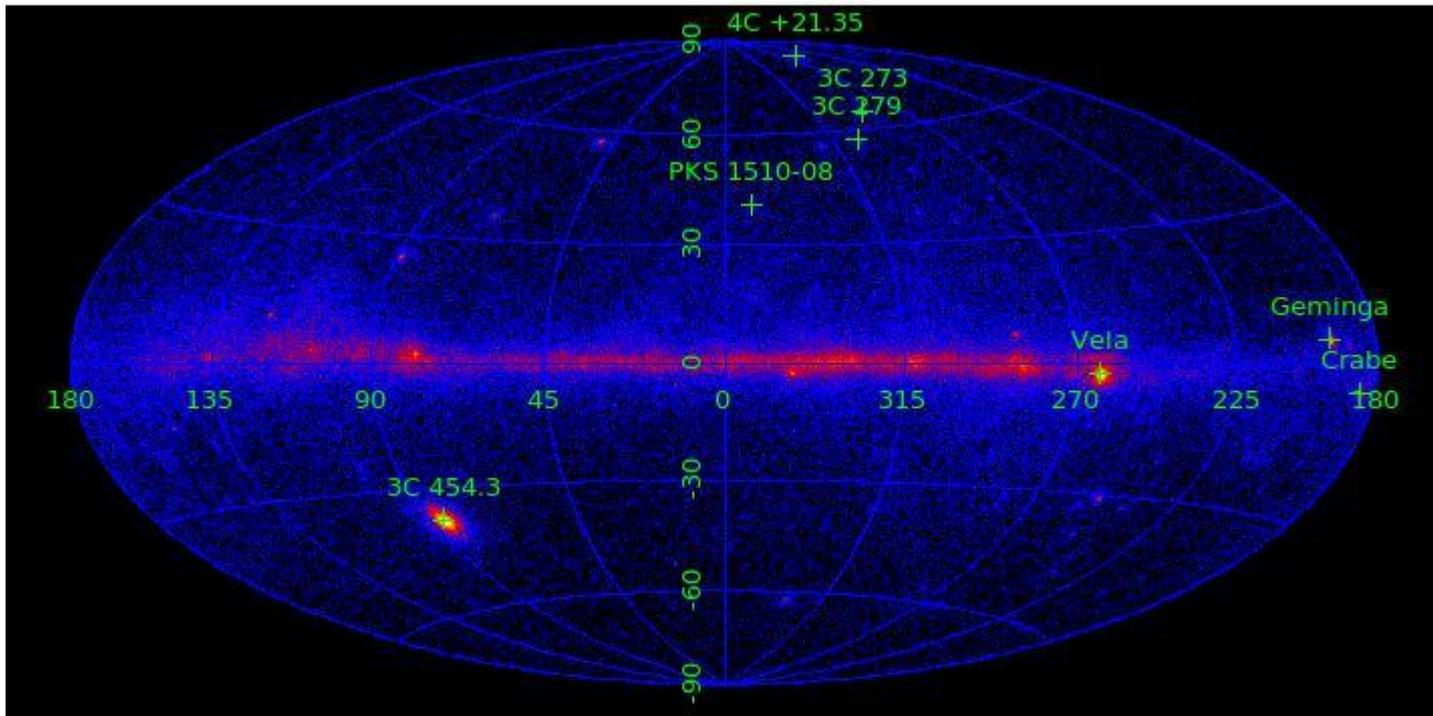
# Créer une carte du ciel



➤ `create_map #semaine (option)`

`option= cel, gal, ait`

`ex create_map 129 ait`





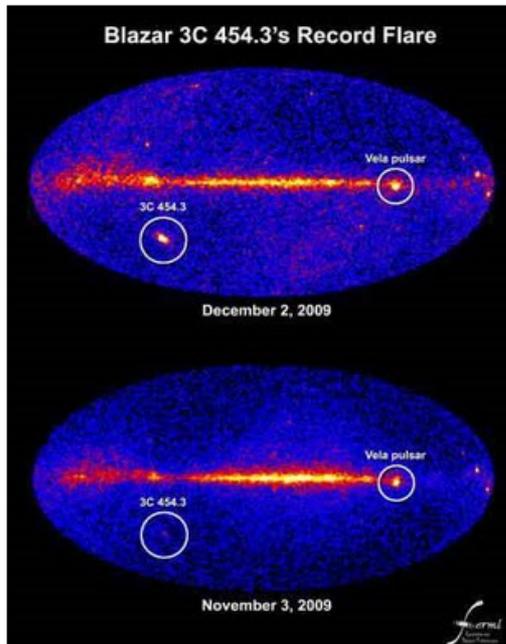
Kamis, 10 Desember 2009

## Fermi Gamma-ray Tangkap Objek Galaksi Aktif 3C454.3 jarak 7,2 miliar tc di Konstelasi Pegasus

(KeSimpulan) Sebuah galaksi terletak miliaran tahun cahaya menjadi fokus perhatian oleh NASA's Fermi Gamma-ray Space Telescope dan astronom dan fisikawan di seluruh dunia. Berkat serangkaian flares yang dimulai pada 15 September, galaksi sekarang menjadi sumber terang di langit sinar gamma, lebih dari sepuluh kali lebih terang dibanding pada di musim panas.

Astrofisikawan mengidentifikasi objek sebagai 3C 454.3 yaitu sebuah galaksi aktif yang terletak sejauh 7,2 miliar tahun cahaya di konstelasi Pegasus. Tetapi bahkan di antara galaksi-galaksi aktif, ini luar biasa. "Kami sedang mencari di ujung laras jet partikel didukung oleh galaksi lubang hitam supermasif. Beberapa perubahan di dalam jet, kita tidak tahu apa yang mungkin bertanggung jawab untuk flares ini," kata Gino Tosti dari National Institute of Nuclear Physics di Perugia, Italy.

Blazars, seperti banyak galaksi-galaksi aktif, memancarkan hingga mengarahkan perjalanan partikel jet mendekati kecepatan cahaya ketika masalah utama mereka jatuh ke lubang hitam supermasif. Apa yang membuat sebuah blazar begitu cerah di sinar gamma adalah orientasi salah satu peristiwa jet yang kebetulan ditunjukkan langsung ditangkap oleh astronom. Sebagian besar waktu (paling terang sumber yang terus-menerus pada sinar gamma langit adalah pulsar Vela) yang pada jarak sekitar 1.000 tahun cahaya praktis terletak pada lokasi ruang yang lain.



"3C 454.3 adalah jutaan kali lebih jauh, namun saat ini menjadi dua kali flares seterang Vela. Ini merupakan pelepasan energi yang luar biasa dan salah satu sumber tidak dapat bertahan lama," kata Lise Escande di Center for Nuclear Studies di Gradignan, dekat Bordeaux, Perancis.

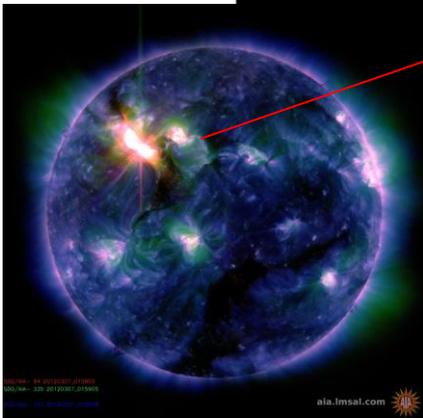
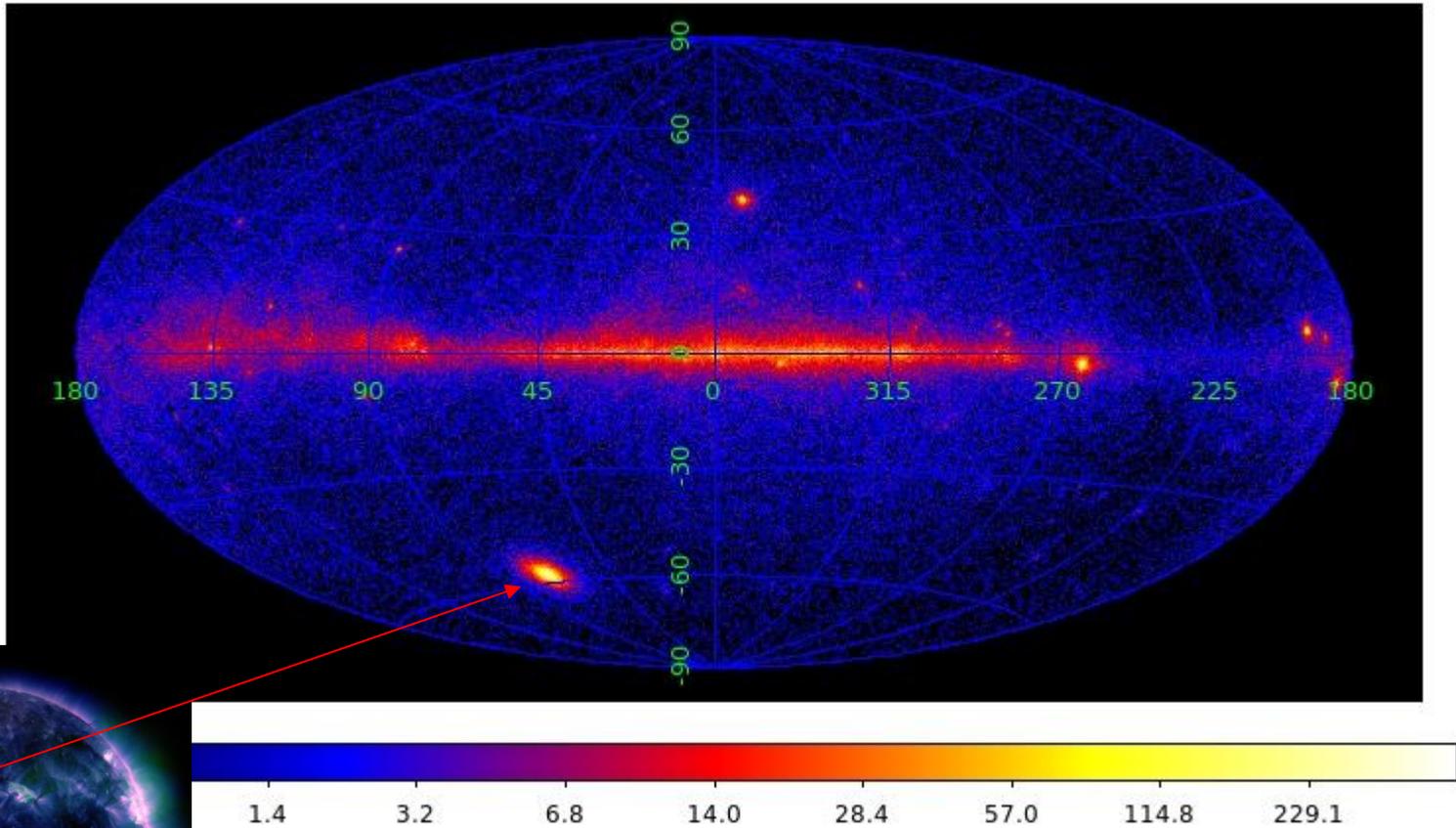
Menurut Massimo Villata di Torino Italia Observatorium, 3C 454.3 juga flare para radio penampakan panjang gelombang, jika kurang dramatis. "Di cahaya merah pada blazar diterangkan oleh lebih dari dua atau setengah kali untuk besarnya magnitude 13,7 dan juga sangat cerah pada frekuensi radio tinggi."

Tim Fermi mempersiapkan para astrofisikawan untuk siap siaga memantau peristiwa tersebut sebagai luas rentang panjang gelombang segala kemungkinan. "Ini pertaruhanan terbaik kami untuk memahami apa yang terjadi di dalam jet tersebut," kata Tosti.

# Eruption solaire



Classe X5, le 7 Mars 2012, semaine 196

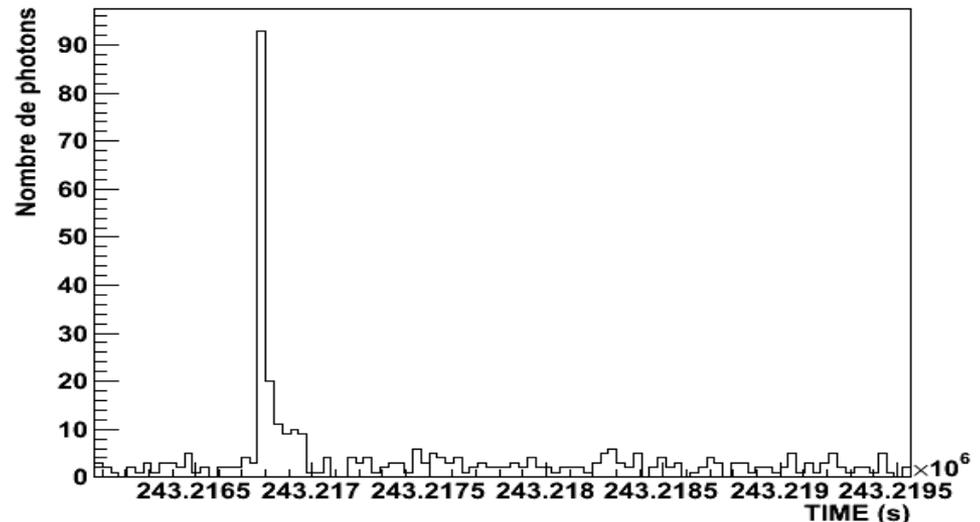


# Créer une carte du ciel avec sélection



- `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 ( $z=4.35$ )



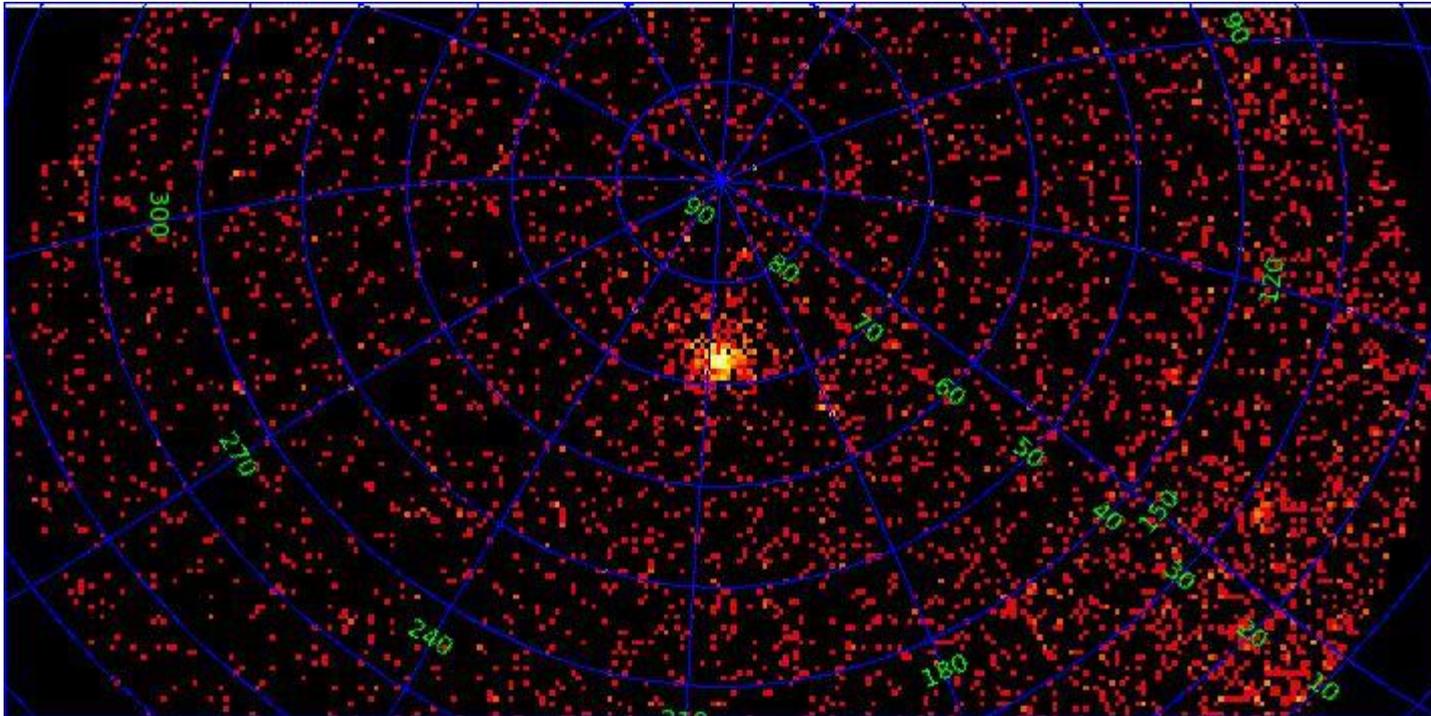
➤ `hist fits_file/lat_photon_weekly_wxxx_p130_v001_temp.fits TIME`

# Création d'une carte du ciel avec sélection

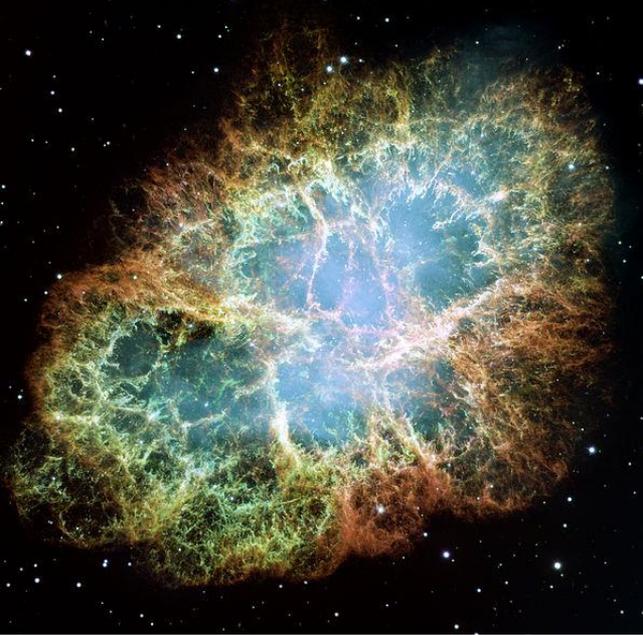


➤ create\_map 256 ait 388727100 388799100 173.1 27.7 70

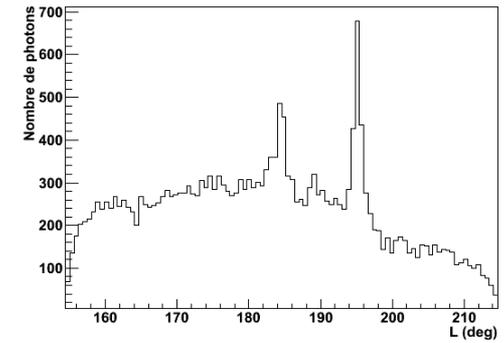
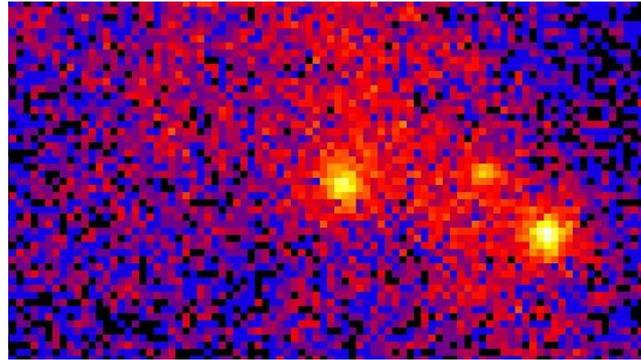
GRB130427A



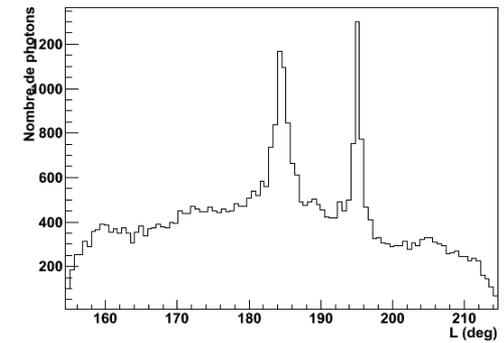
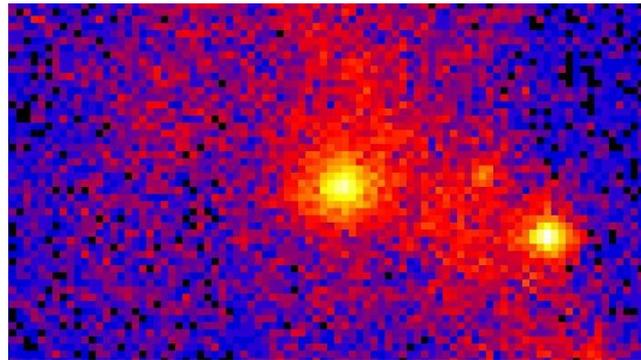
# Nébuleuse du Crabe (M1)



Phase de quiescence (semaine 196)



Phase d'éruption (semaine 248)



*images inversées droite-gauche*

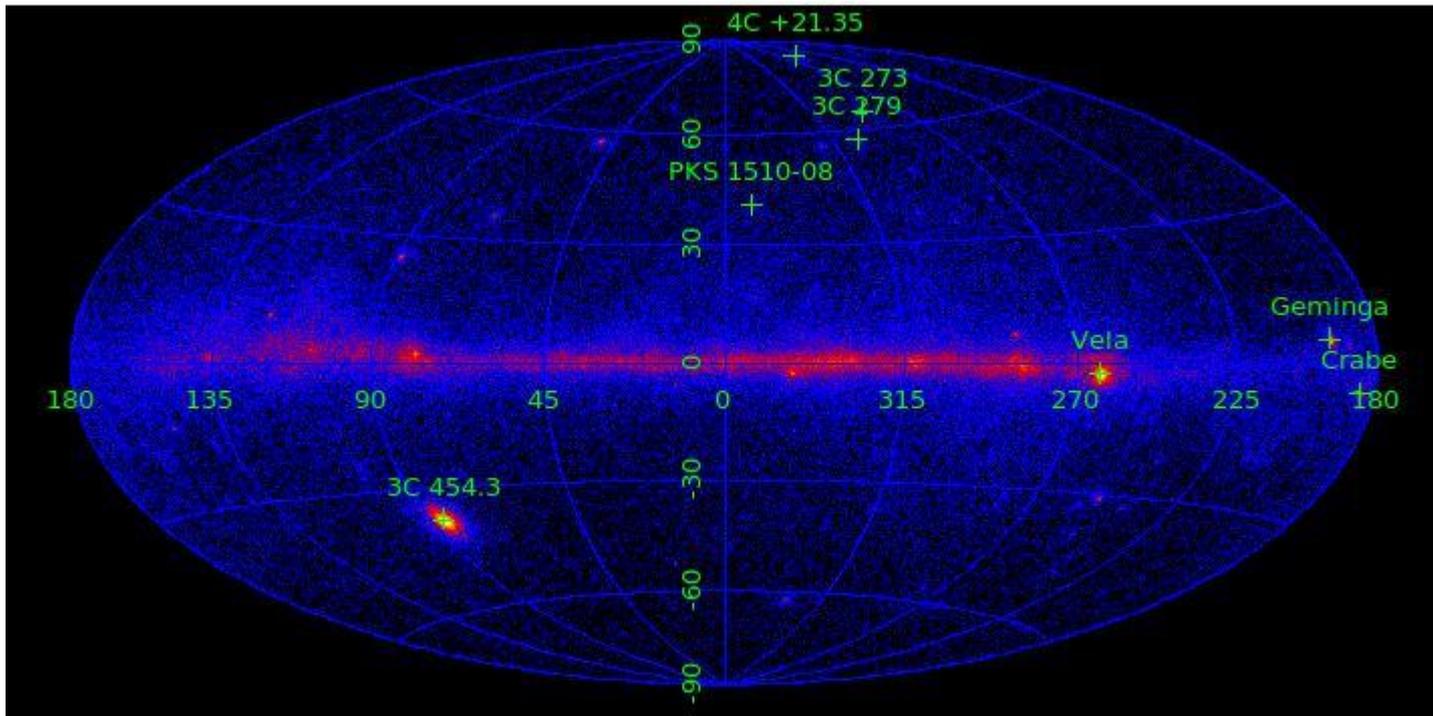
# Créer une carte du ciel



➤ `create_map #semaine (option)`

`option= cel, gal, ait`

`ex create_map 129 ait`

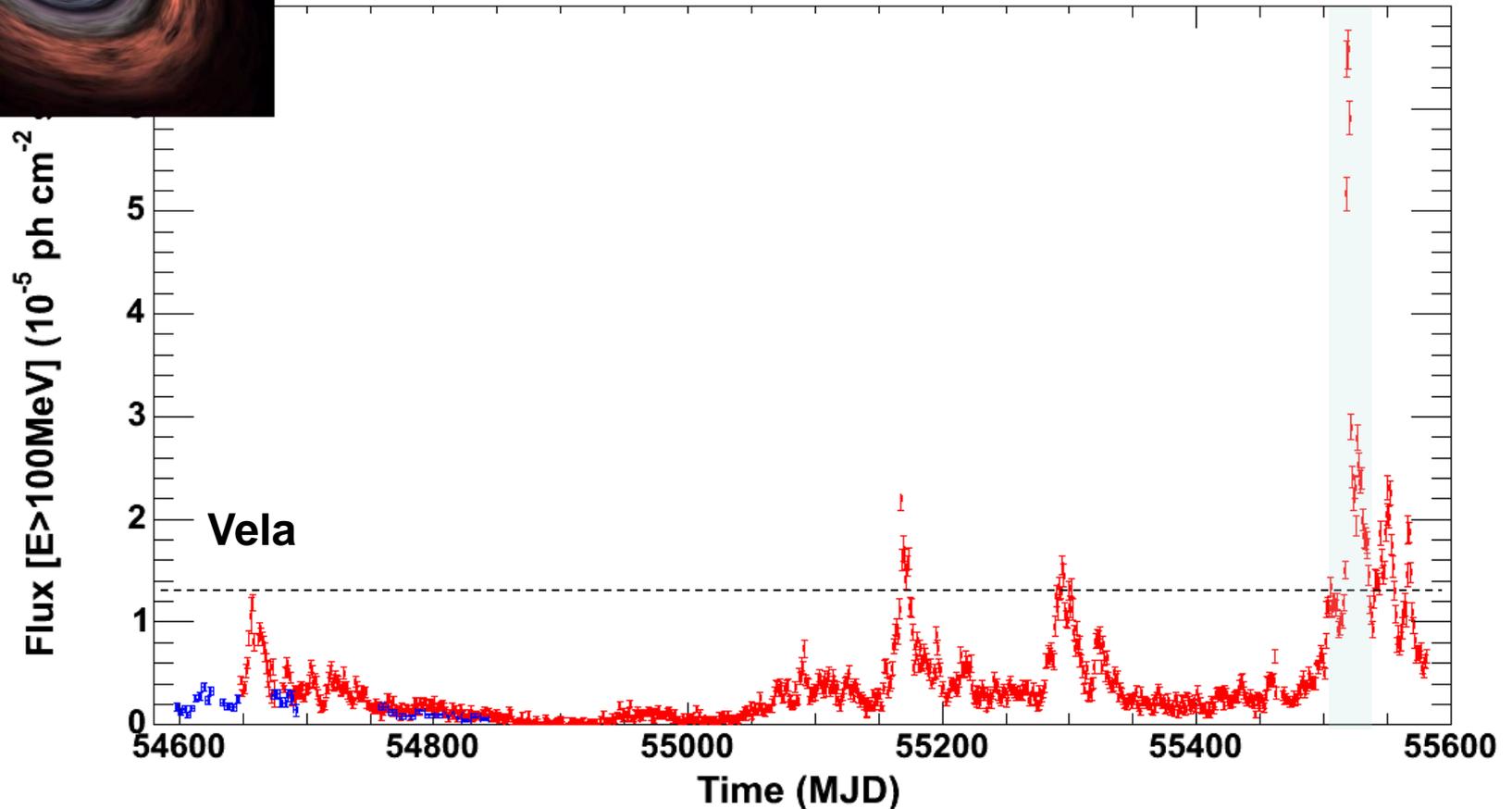


# Le blazar 3C 454.3



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

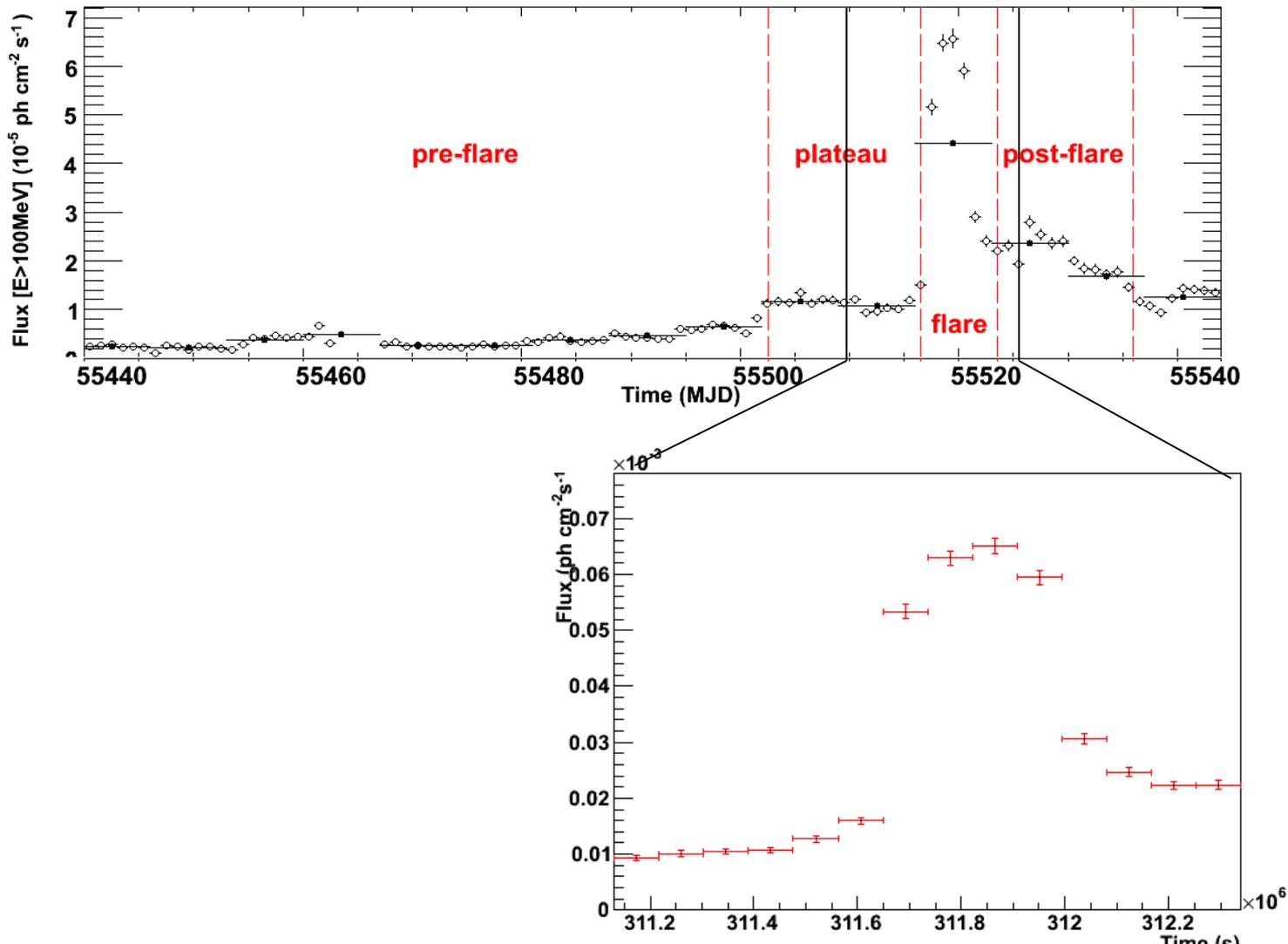
**3C 454.3:** trou noir supemassif  $> 10^9$  masses solaires,  $z=0.859$ ,  $d=7.2$  milliards d'années lumière



# Courbes de lumière



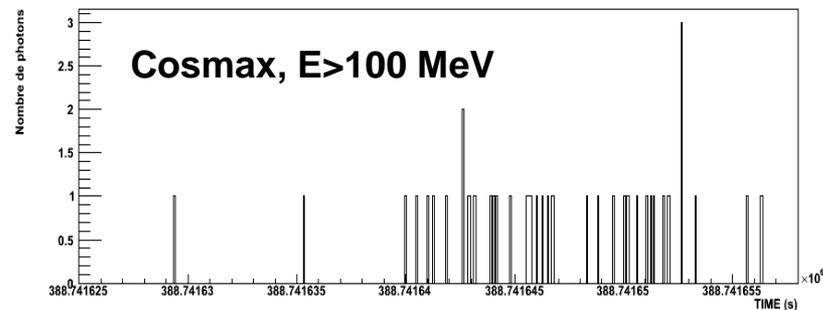
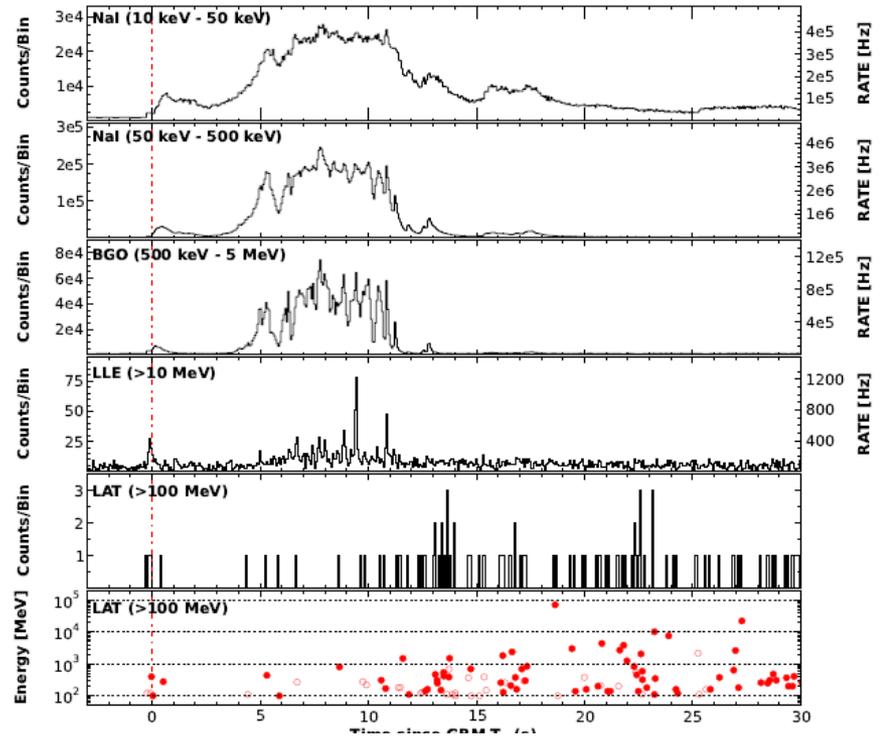
- `create_light_curve 128-129 lc_3454.txt 0 0 86400 343.5 16.15 5`



# GRB130427A



Ackermann et al. 2013, Science



# Créer une animation

---



➤ `create_movie #semaine option time_min  
time_max delta_t ra dec r emin emax  
delai`

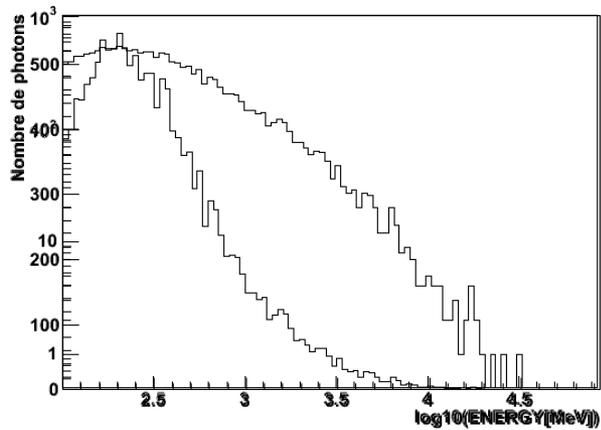
`option= cel, gal, ait`

`Ex create_movie 256 ait 388727100 388799100 3600  
173.1 27.7 15`

# Distribution en énergie



hist /mnt/hgfs/Echanges/cosmax/lat\_photon\_weekly\_w128-129\_temp\_lc.fits "log(ENERGY)"



# 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

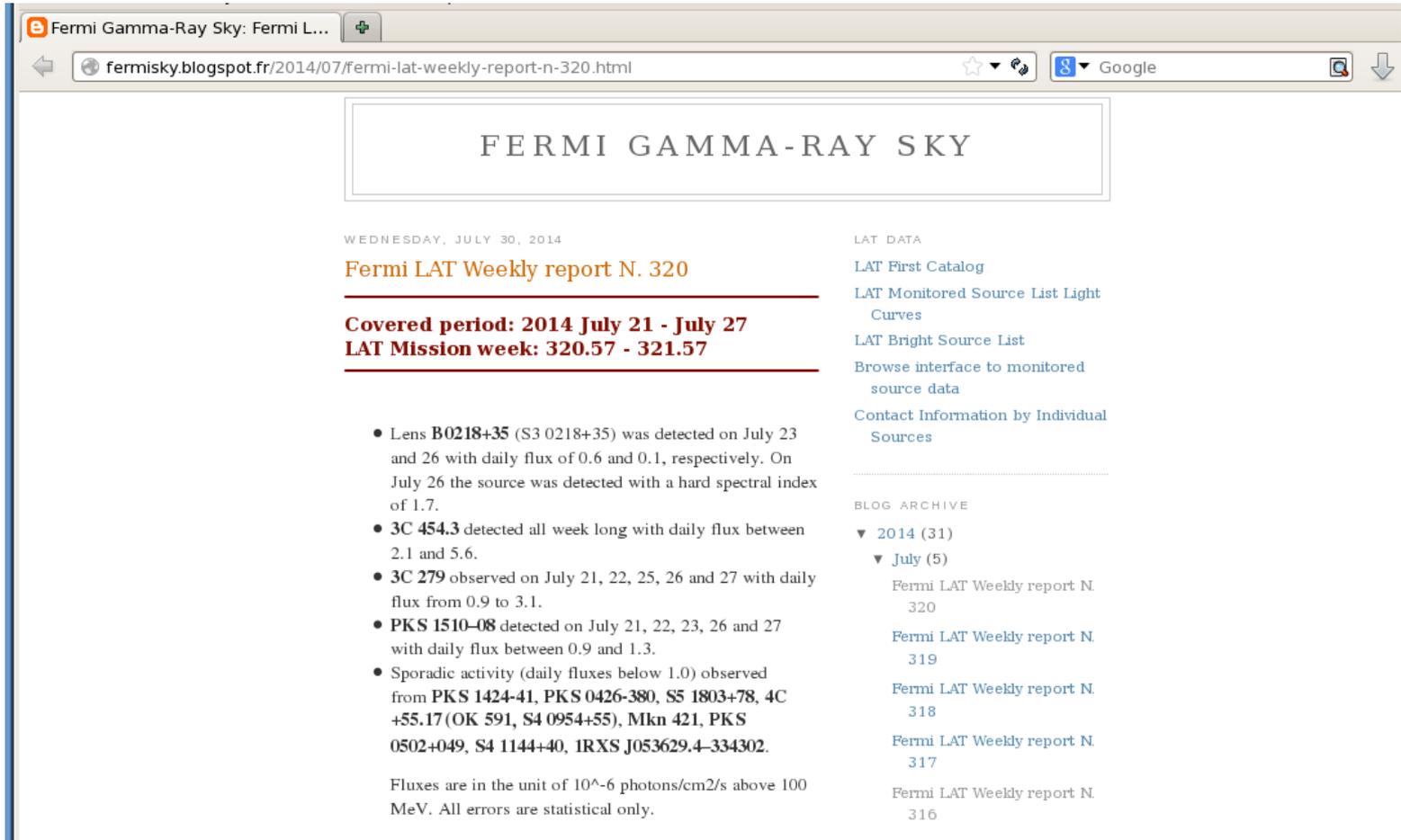
# Utilisation du blog



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 web browser window with the address bar containing the URL `fermisky.blogspot.fr/2014/07/fermi-lat-weekly-report-n-320.html`. The page title is "FERMI GAMMA-RAY SKY". The main content area displays the date "WEDNESDAY, JULY 30, 2014" and the title "Fermi LAT Weekly report N. 320". Below the title, the covered period is listed as "Covered period: 2014 July 21 - July 27" and "LAT Mission week: 320.57 - 321.57". A list of detected sources is provided, including Lens B0218+35, 3C 454.3, 3C 279, PKS 1510-08, and sporadic activity from PKS 1424-41, PKS 0426-380, S5 1803+78, 4C +55.17, Mkn 421, PKS 0502+049, S4 1144+40, and 1RXS J053629.4-334302. Fluxes are noted to be in units of  $10^{-6}$  photons/cm<sup>2</sup>/s above 100 MeV. 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 "BLOG ARCHIVE" (2014 (31), July (5) with links to reports N. 320, 319, 318, 317, and 316).

Fermi Gamma-Ray Sky: Fermi L...

fermisky.blogspot.fr/2014/07/fermi-lat-weekly-report-n-320.html

Google

## FERMI GAMMA-RAY SKY

WEDNESDAY, JULY 30, 2014

### Fermi LAT Weekly report N. 320

---

**Covered period: 2014 July 21 - July 27**  
**LAT Mission week: 320.57 - 321.57**

---

- Lens **B0218+35** (S3 0218+35) was detected on July 23 and 26 with daily flux of 0.6 and 0.1, respectively. On July 26 the source was detected with a hard spectral index of 1.7.
- **3C 454.3** detected all week long with daily flux between 2.1 and 5.6.
- **3C 279** observed on July 21, 22, 25, 26 and 27 with daily flux from 0.9 to 3.1.
- **PKS 1510-08** detected on July 21, 22, 23, 26 and 27 with daily flux between 0.9 and 1.3.
- Sporadic activity (daily fluxes below 1.0) observed from **PKS 1424-41**, **PKS 0426-380**, **S5 1803+78**, **4C +55.17** (OK 591, S4 0954+55), **Mkn 421**, **PKS 0502+049**, **S4 1144+40**, **1RXS J053629.4-334302**.

Fluxes are in the unit of  $10^{-6}$  photons/cm<sup>2</sup>/s above 100 MeV. All errors are statistical only.

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](#)

---

BLOG ARCHIVE

- ▼ 2014 (31)
  - ▼ July (5)
    - [Fermi LAT Weekly report N. 320](#)
    - [Fermi LAT Weekly report N. 319](#)
    - [Fermi LAT Weekly report N. 318](#)
    - [Fermi LAT Weekly report N. 317](#)
    - [Fermi LAT Weekly report N. 316](#)

# 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!