

Point d'information

Fermi-LAT

- Historique Fermi au CS-LLR:
- GLAST (21/11/2005)
 - Astrogamma (13/10/2014)

Fermi

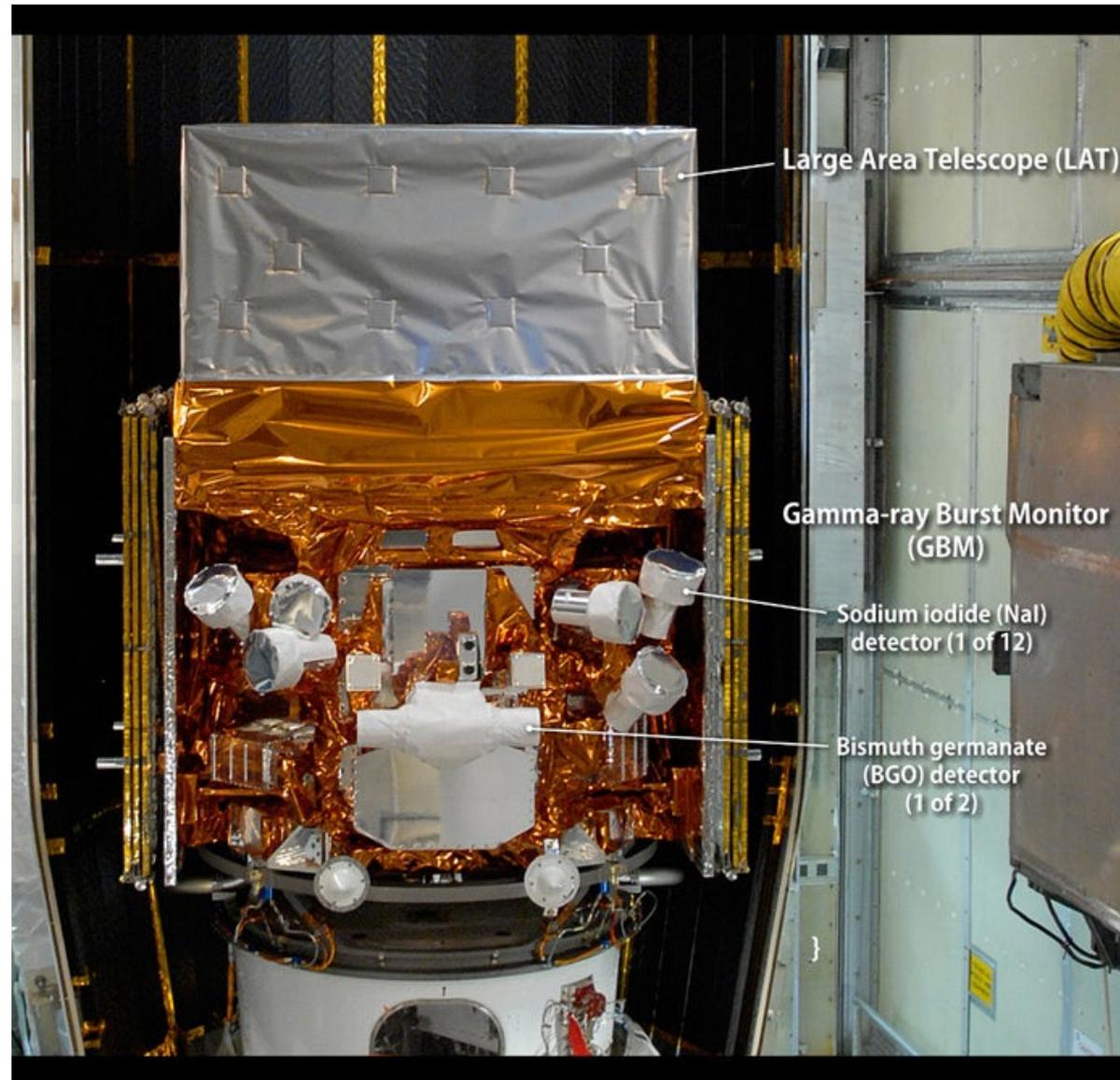
Rappel : il y a deux instruments

LAT (Large Area Telescope)

- ex GLAST
- 20 MeV \rightarrow 2 TeV
- FoV \sim 2.5 sr
- Master projet IN2P3
- Soutien CNES
 - dernière revue en oct 2016

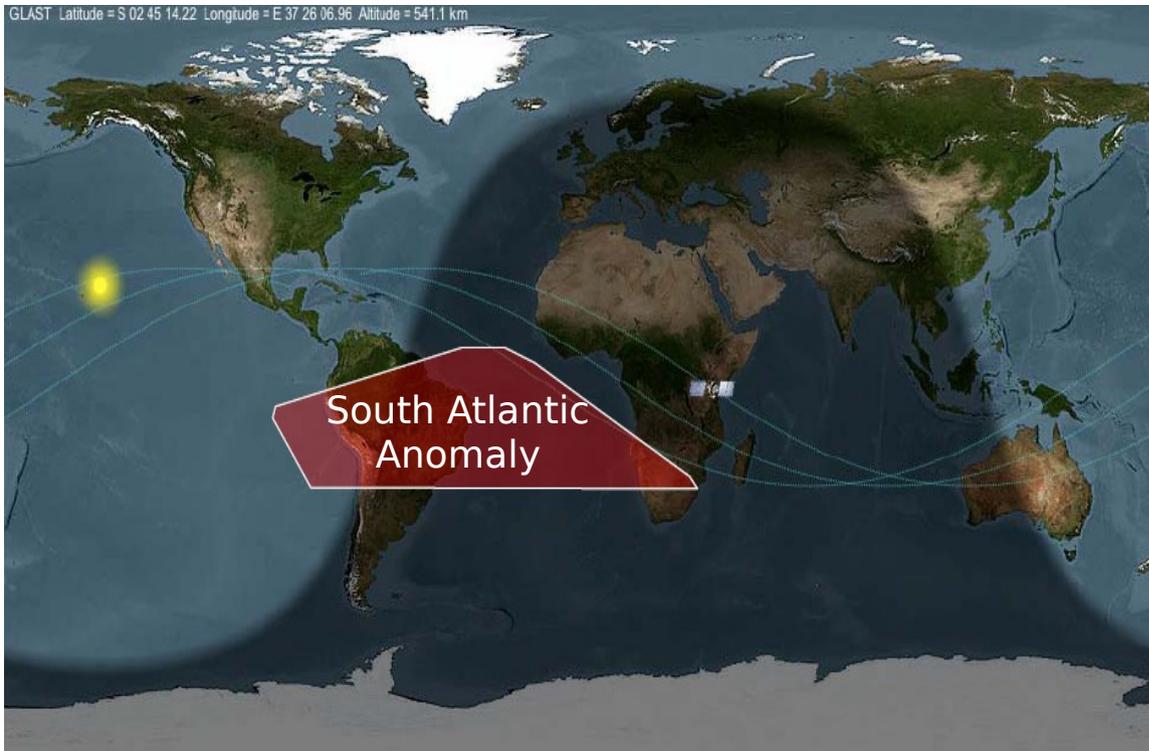
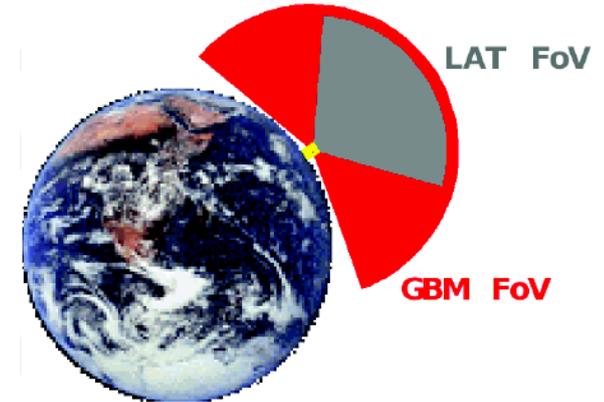
GBM (Gamma-ray Burst Monitor)

- \rightarrow Gravitation Burst Monitor
- 12 NaI (1 keV - 1 MeV)
- 2 BGO (200 keV - 40 MeV)
- FoV $>$ 8 sr
- ~~IN2P3, France~~



Fermi : mission, orbite

- Lancement : 11 juin 2008
- Durée : 5 ans + 5 ans ? + ???
- Altitude : 565 km
- Inclinaison : 25.6deg
- Période : 1.5h



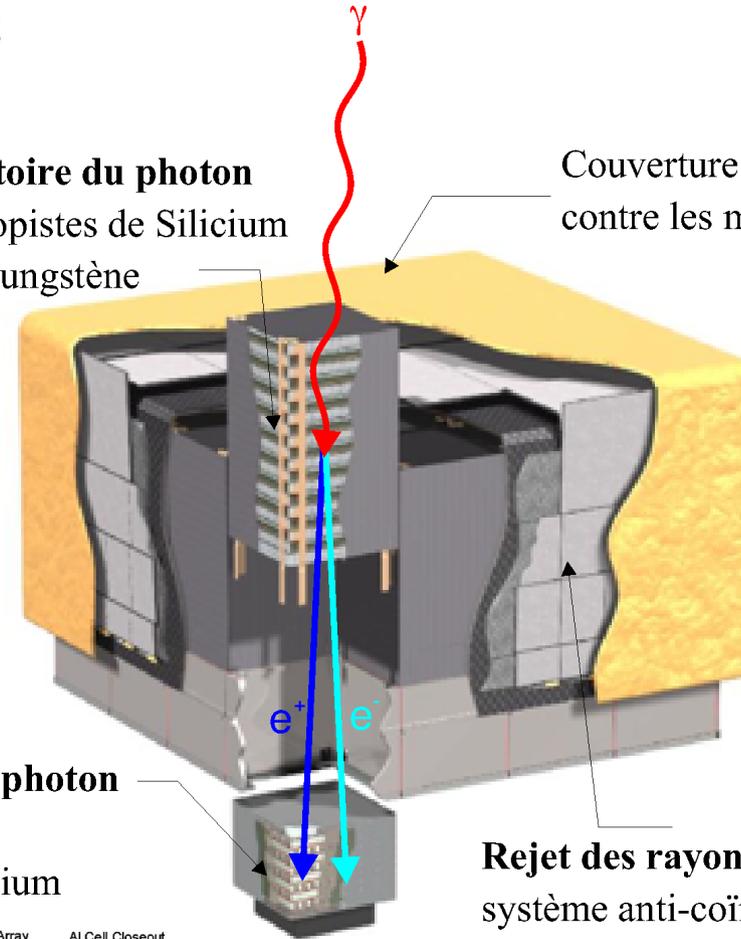
- Mode d'observation principal
 - survey mode = on change d'hémisphère tous les orbites → ciel complet en 3h
- Chaque source est vue ~30min toutes les 3h
- Quelques pointés déclenchés par le GBM ou décidés au sol
- South Atlantic Anomaly
 - perte de 15%
 - incluant GRB/GW 170817

Fermi-LAT

- Rappel : il y a trois sous-détecteurs

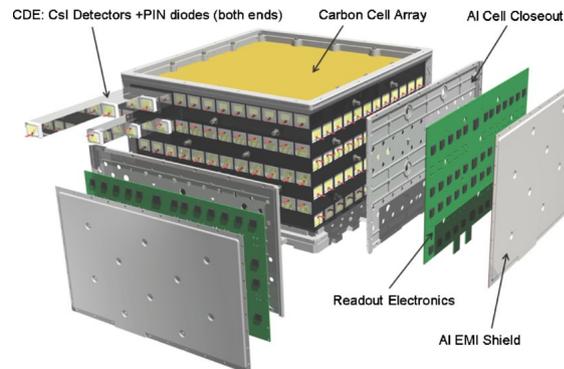
Mesure de la trajectoire du photon
Trajectographe micropistes de Silicium
+ Convertisseur de Tungstène

Couverture de protection
contre les micrométéorites



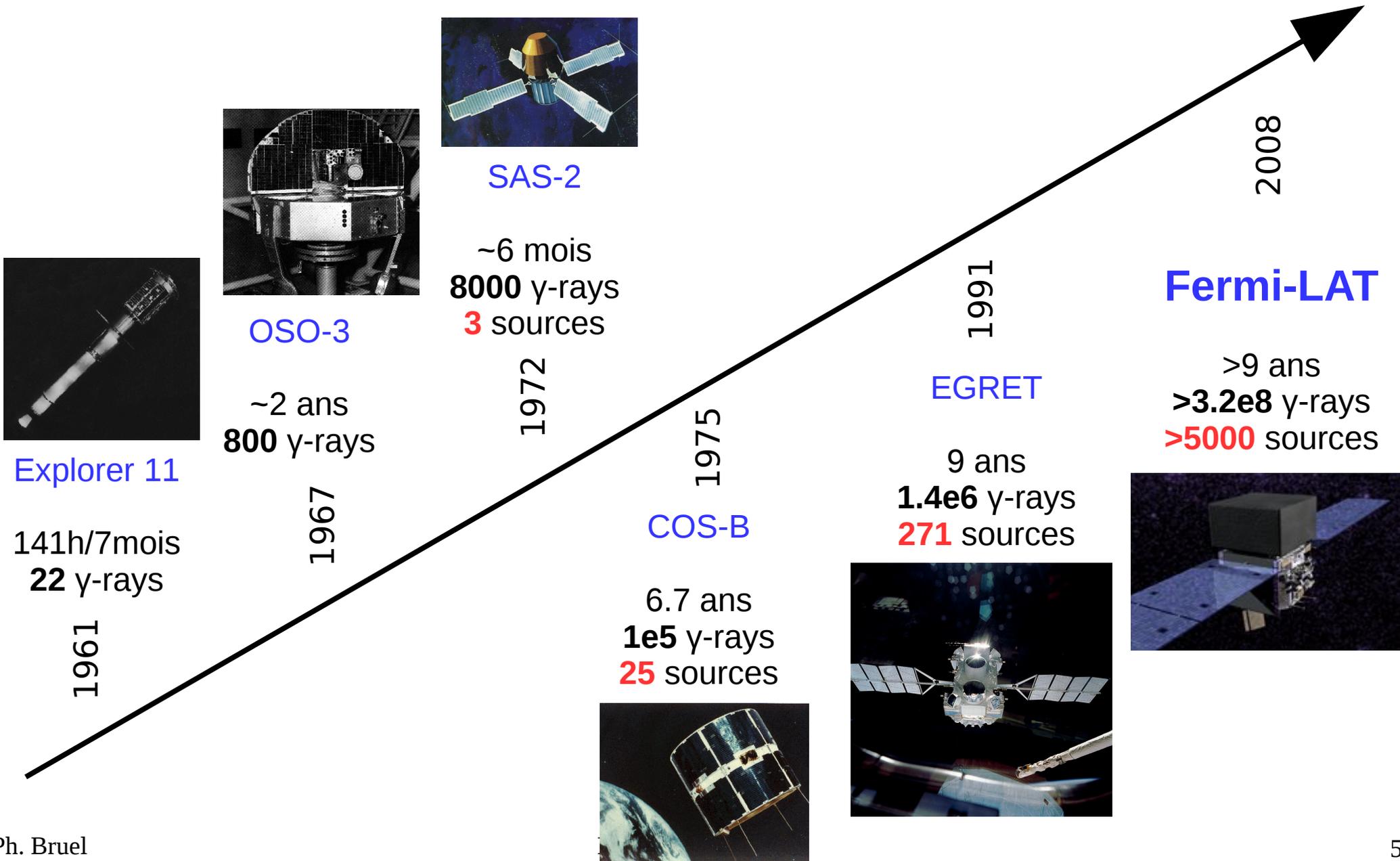
Mesure de l'énergie du photon
Calorimètre
Cristaux d'Iodure de Césium

Rejet des rayons cosmiques chargés
système anti-coïncidence
Tuiles de scintillateur



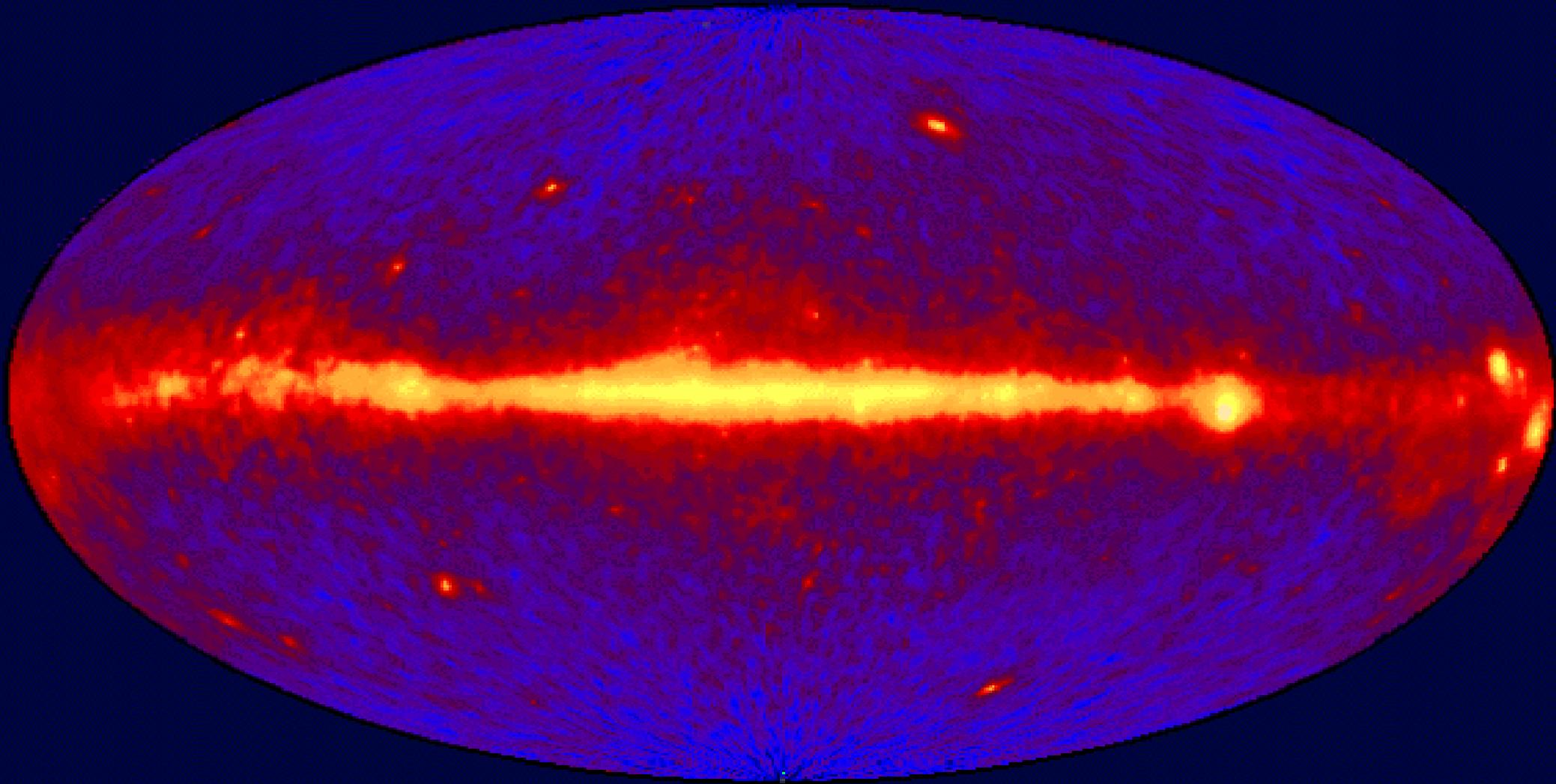
Structure du calorimètre
conçue et faite au LLR
(Oscar et al.)

Astronomie gamma spatiale



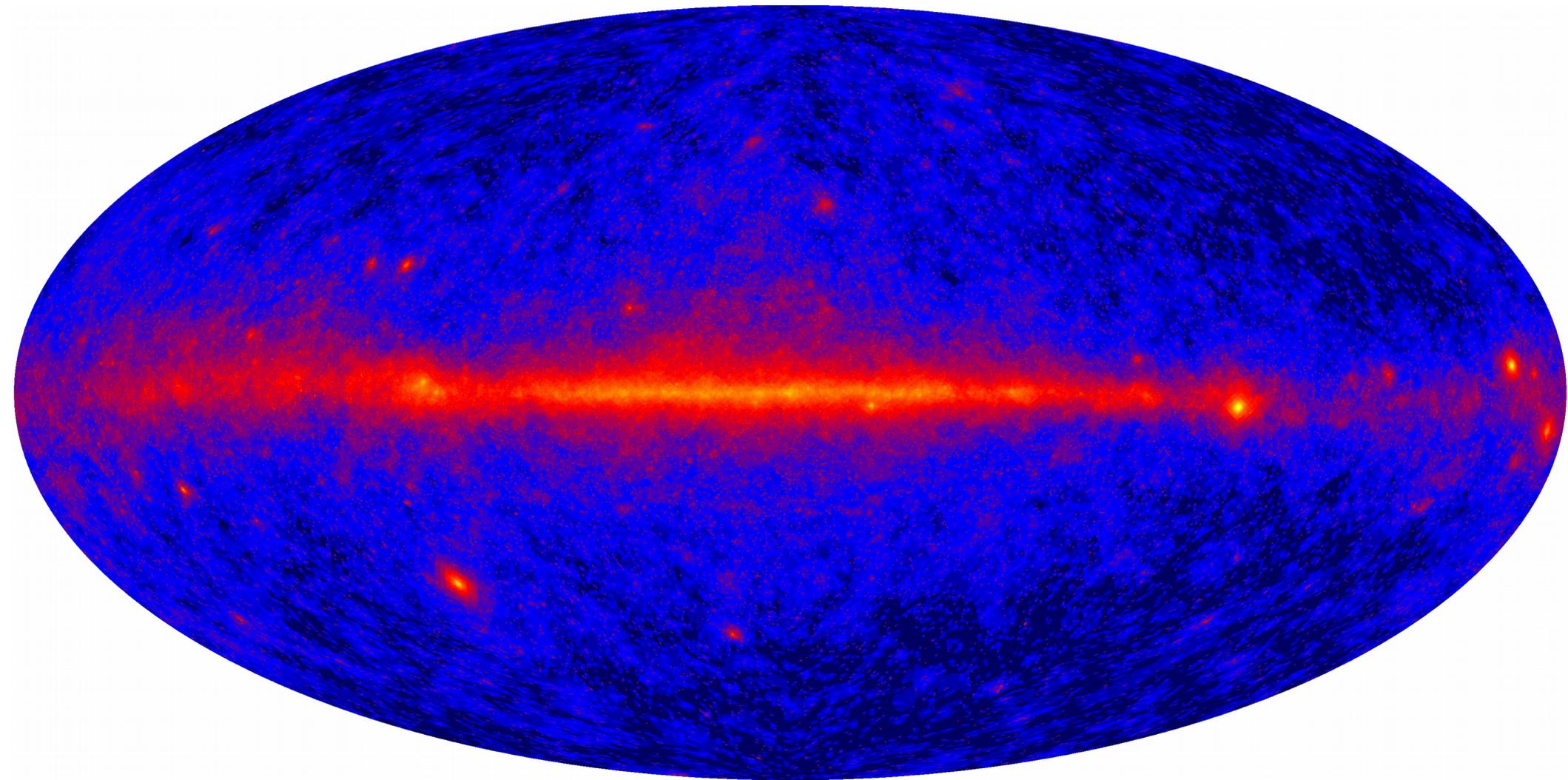
EGRET : 9 ans

EGRET All-Sky Map Above 100 MeV



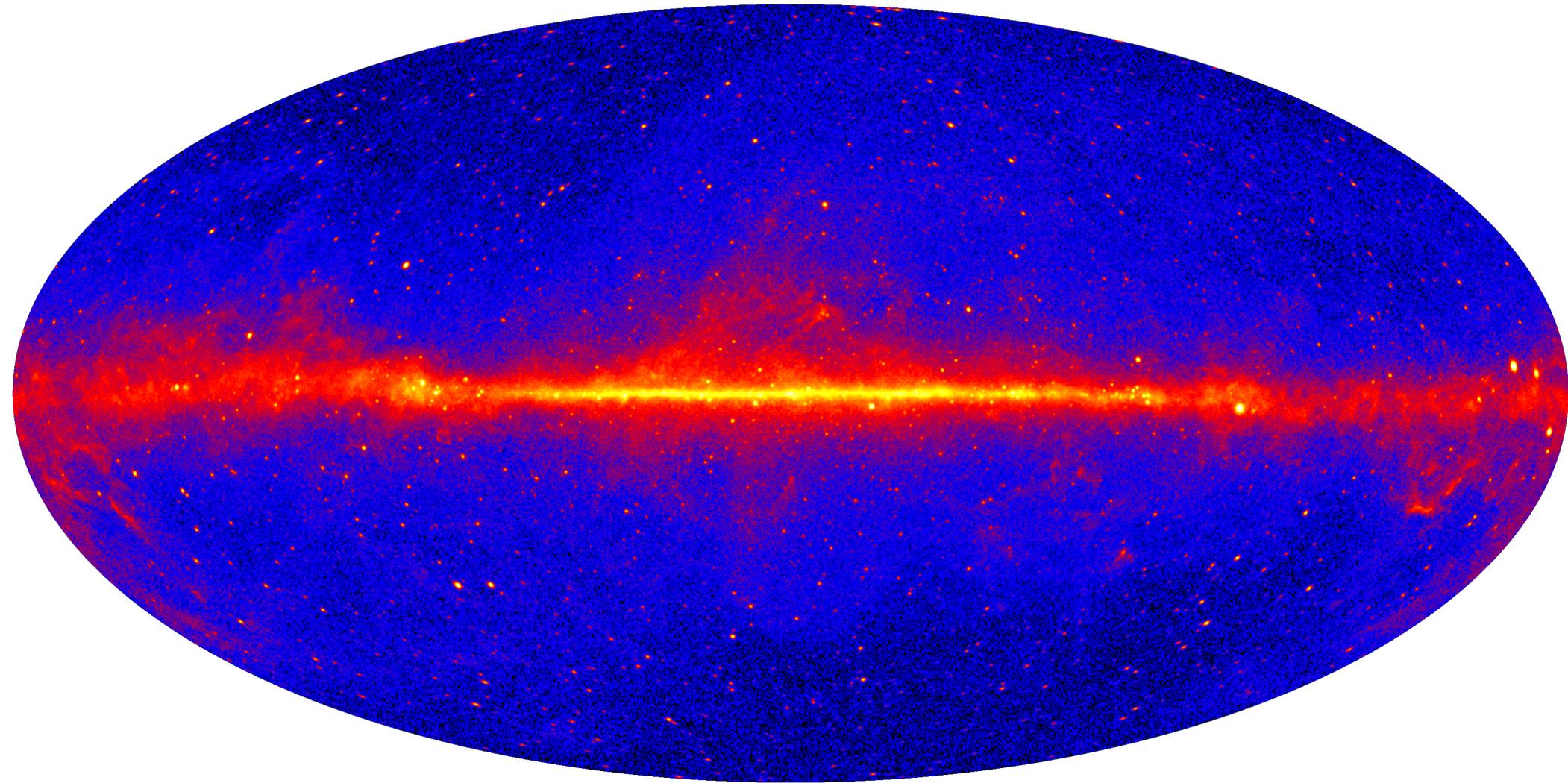
Fermi : 4 jours

$E > 100$ MeV

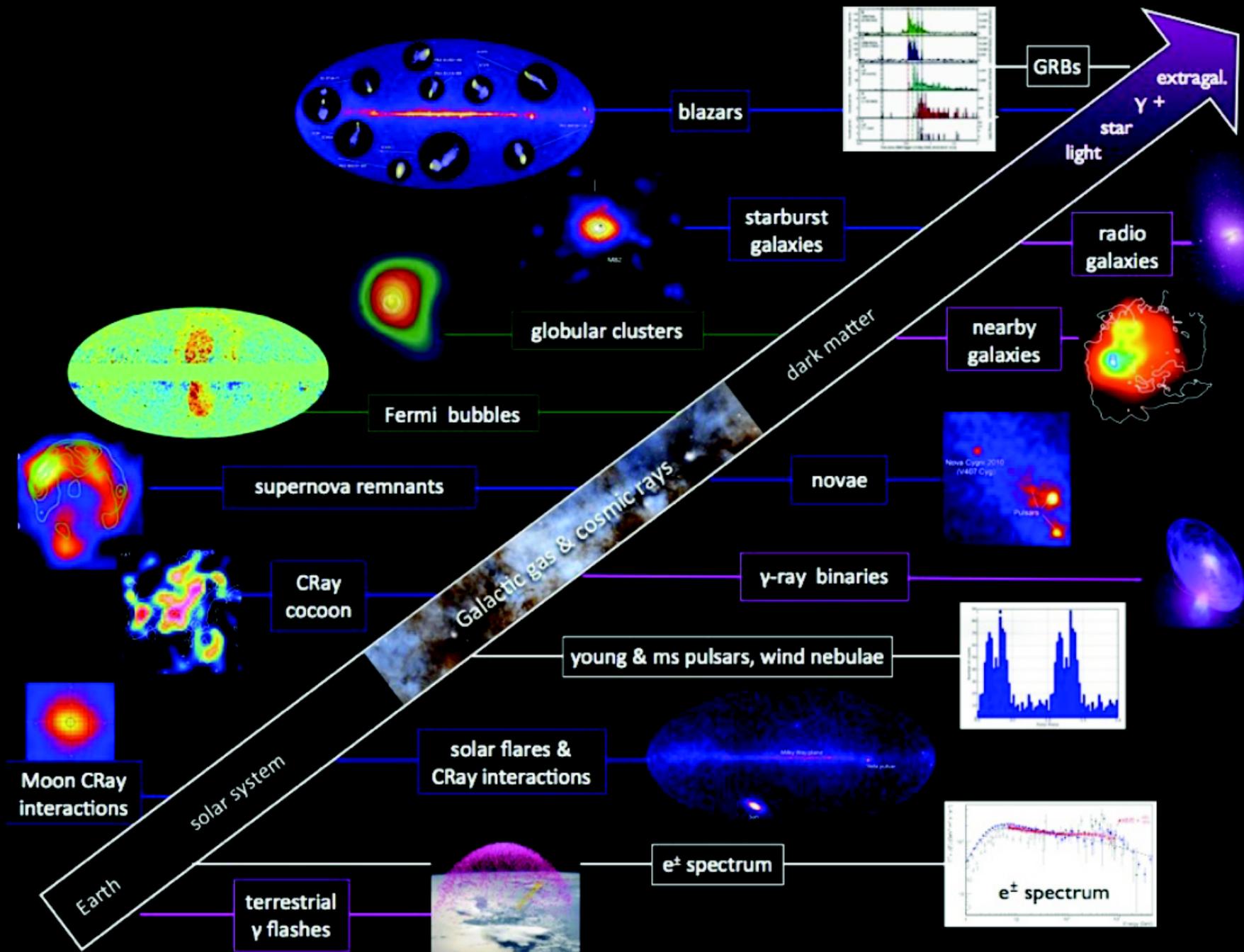


Fermi : 9 ans

$E > 1$ GeV, le quart des données avec la meilleure résolution angulaire

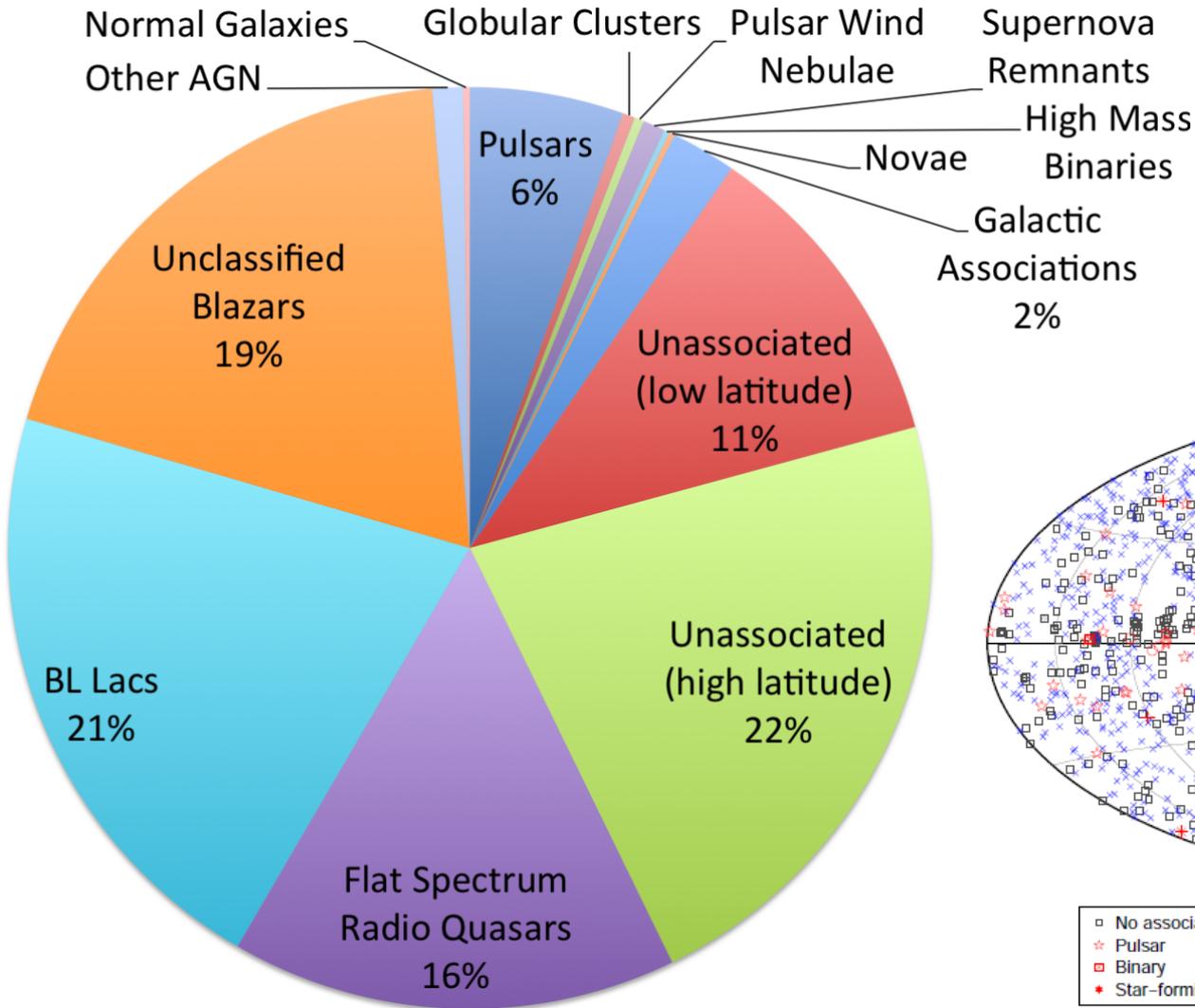


Science avec Fermi

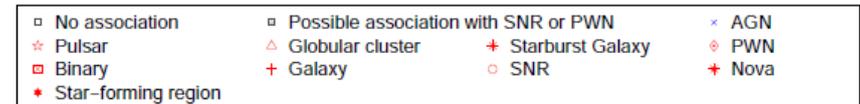
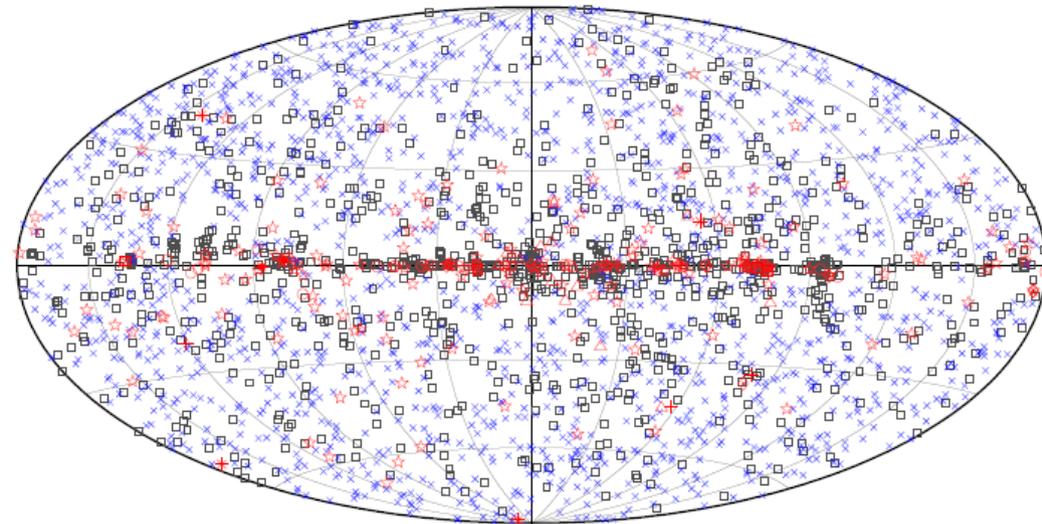


Types de sources

3033 sources dans le 3FGL (4 ans de données)



- ~50% = blazars
- >200 pulsars !
 - ~50% = MSPs !!
- 33% non-associées

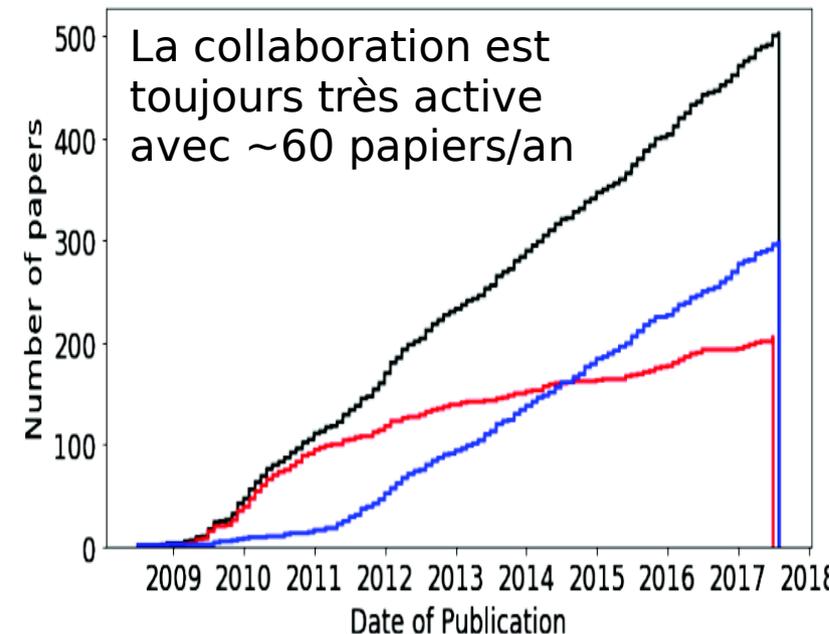


Collaboration LAT

- Environ 200 personnes (USA, Italie, France~12%, Japon, Suède,...)
 - Deux réunions de collaboration par an
 - Shifts (Data Quality Monitoring, Flare advocate)
 - Huit groupes de travail (visioconfs : hebdomadaires → bi-mensuelles)

instrument	catalogue
AGN	sources galactiques
GRB	système solaire
émission diffuse	matière noire

- Responsabilités:
 - coordination Inst. 2007-2009 : Philippe
 - coordination AGN 2010-2012 : Steve
 - coordination globale 2013-2015 : Philippe



Données publiques (1)

Une des conditions pour que la mission Fermi soit acceptée était que les données soient publiques.

Cela implique la collaboration mette à disposition :

- les données = liste de photons (direction, énergie, temps)
- le code d'analyse des données (ScienceTools)
- les fonctions de réponse de l'instrument
- les recommandations d'analyse
- tous les ingrédients nécessaires à l'analyse des données :
 - modèle de l'émission diffuse galactique
 - émission gamma isotrope (qui contient le bruit de fond résiduel)
 - le catalogue des sources
 - etc...

Précisions:

- les données ont été privées pendant la première année. Depuis août 2009 les données sont publiques dès qu'elles sont processées (~6h après trigger)
- si les données sont améliorées, il faut rendre publique la nouvelle version
- avant de rendre les données publiques, il faut être certain qu'il n'y a pas de sources d'erreur possibles (e.g. un effet instrumental qui pourrait ressembler à un signal de matière noire...)

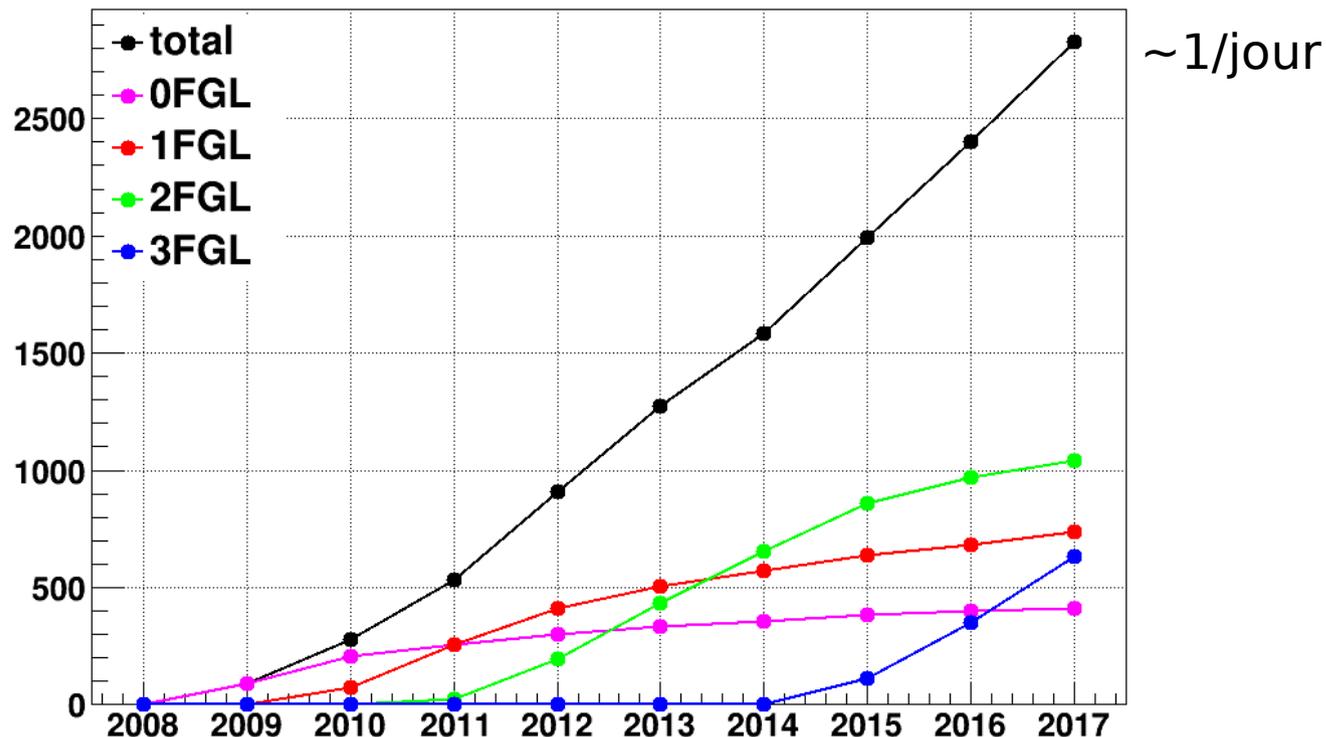
Données publiques (2)

Les données sont vraiment utilisées par la communauté.

Le retour de la communauté en tant qu'utilisatrice des données compte:

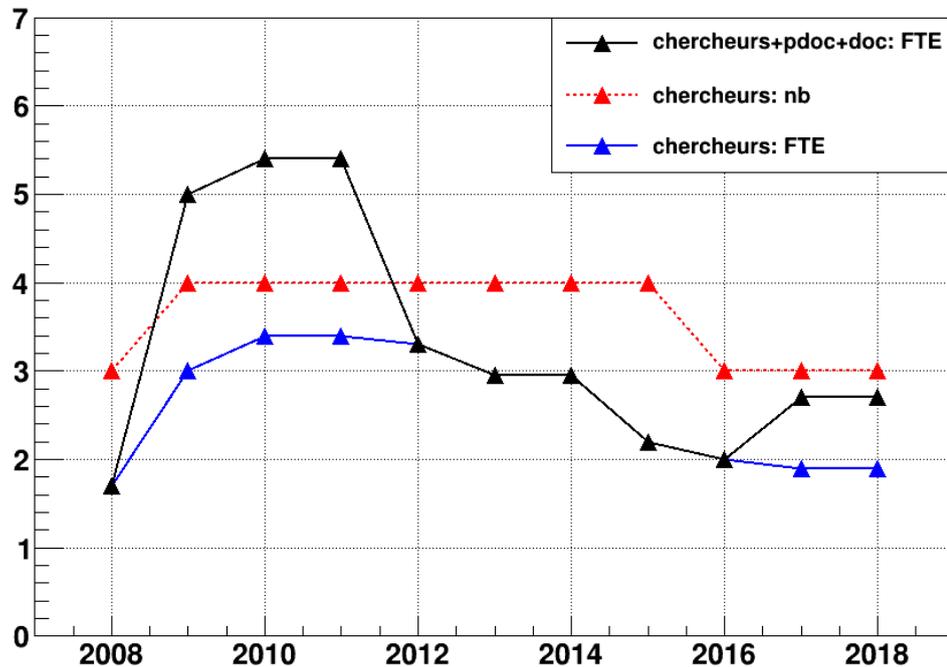
- le Fermi User Group se réunit régulièrement et donne son avis ainsi que des recommandations.
- cela compte dans l'évaluation de la mission par la NASA et donc dans la décision de prolonger la mission.

Nb de citations cumulées du catalogue Fermi



Fermi IN2P3 et LLR

- IN2P3 hors LLR :
 - CENBG : 6 permanents
 - LUPM : 5 permanents
- LLR :
 - 3 chercheurs : (Berrie), Deirdre, Steve, Philippe
 - 1 doctorante : Janeth Valverde
 - historique :



Thèmes de recherche

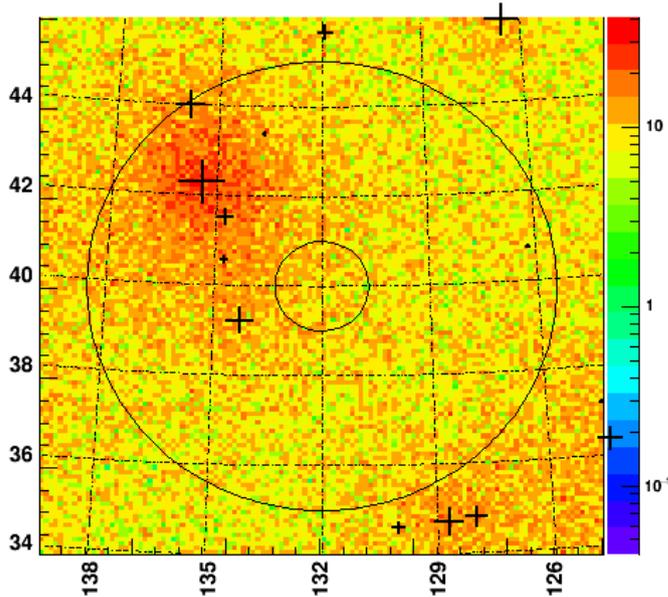
- Instrument (Philippe)
- Electrons cosmiques (Philippe)
- Catalogues (Deirdre, Steve, Philippe)
- Blazars GeV-TeV (Berrie, Deirdre, Steve, Janeth)

Analyse astro des données

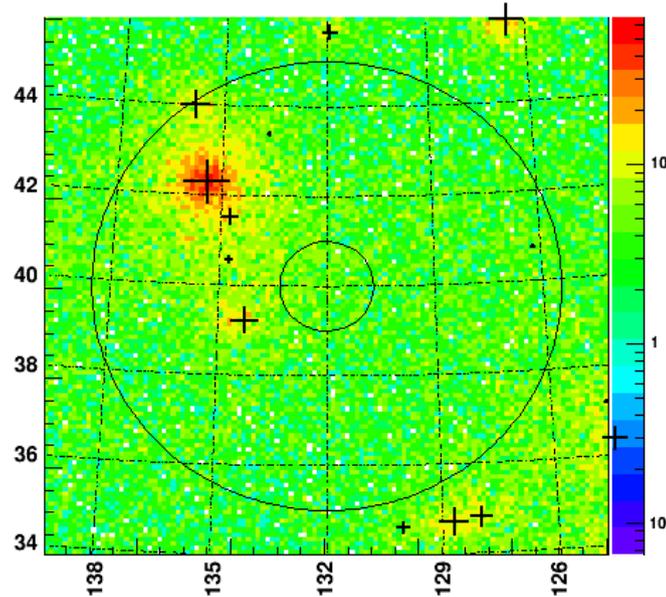
Analyse d'une région du ciel

- cartes de coups binnées en logE

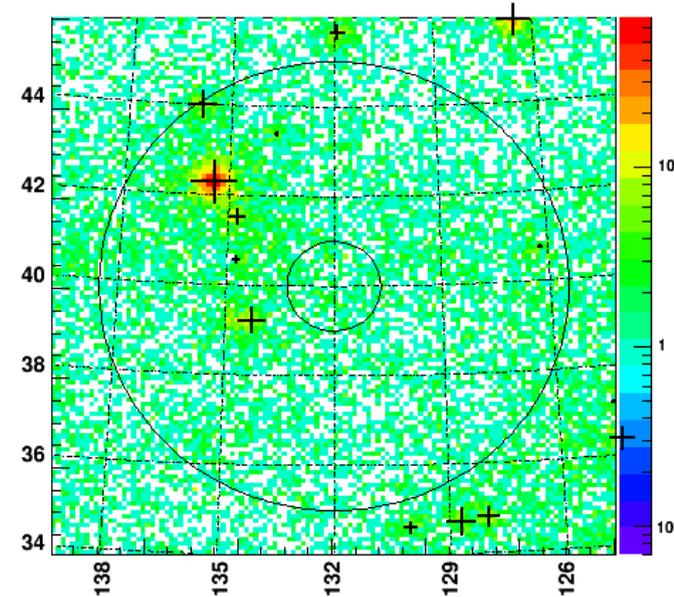
$2.00 < \log E < 2.50$



$2.50 < \log E < 3.00$



$3.00 < \log E < 3.50$

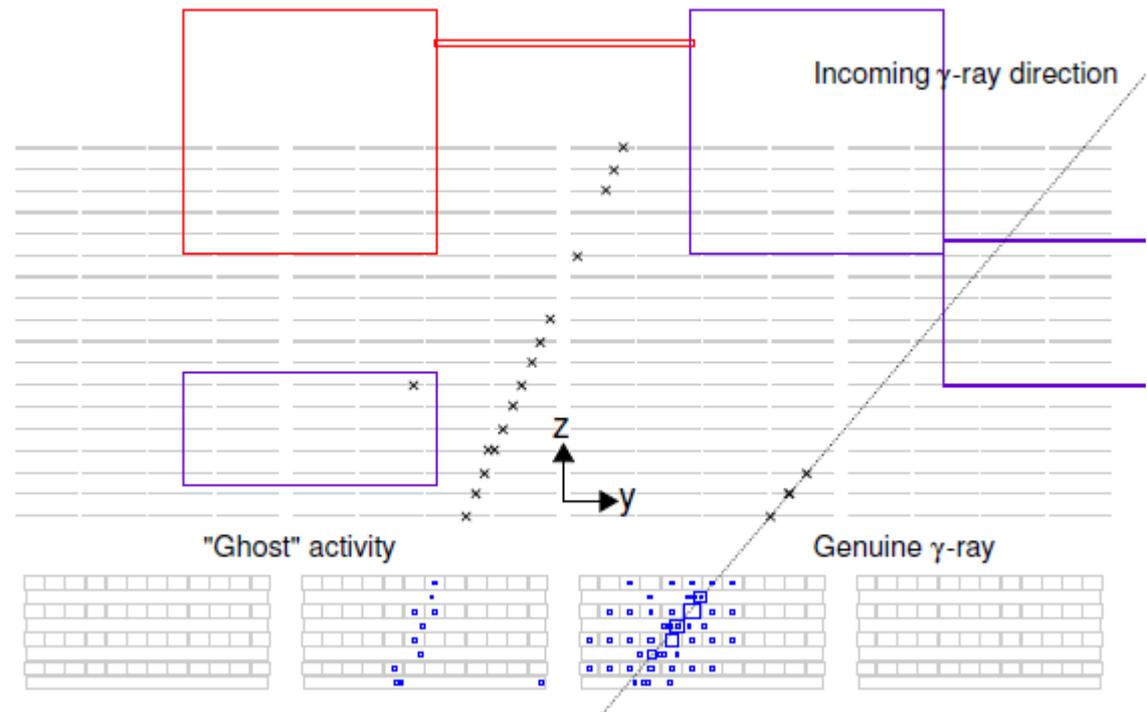


- ajustement d'un modèle = somme de:
 - émissions diffuses (galactique, isotrope, etc)
 - sources (ponctuelles ou étendues)
- toute les performances de l'instrument sont contenues dans les fonctions de réponses de l'instrument (qui dépendent de E et theta) :
 - surface effective
 - résolution angulaire
 - résolution en énergie

Reconstruction/sélection

- Reconstruction des événements
 - direction d'arrivée, énergie, variables discriminantes photons/chargés
 - grand espace de phase (10 MeV à 3 TeV, $0 < \theta < 60$)
- Sélection des photons
 - analyse multivariée (TMVA, Boosted Decision Trees)
- Erreurs systématiques (évaluées grâce à des échantillons \sim purs en photons - pulsar Vela, AGN brillants, interaction proton/atmosphère):
 - accord instrumental données/simulation
 - accord astronomique données/prédiction

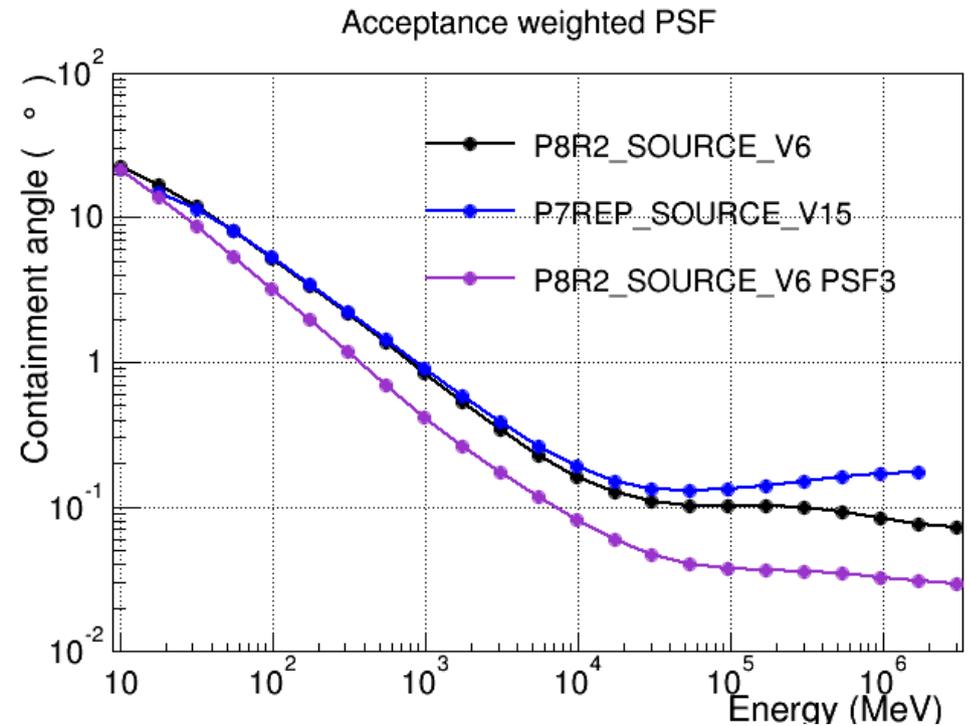
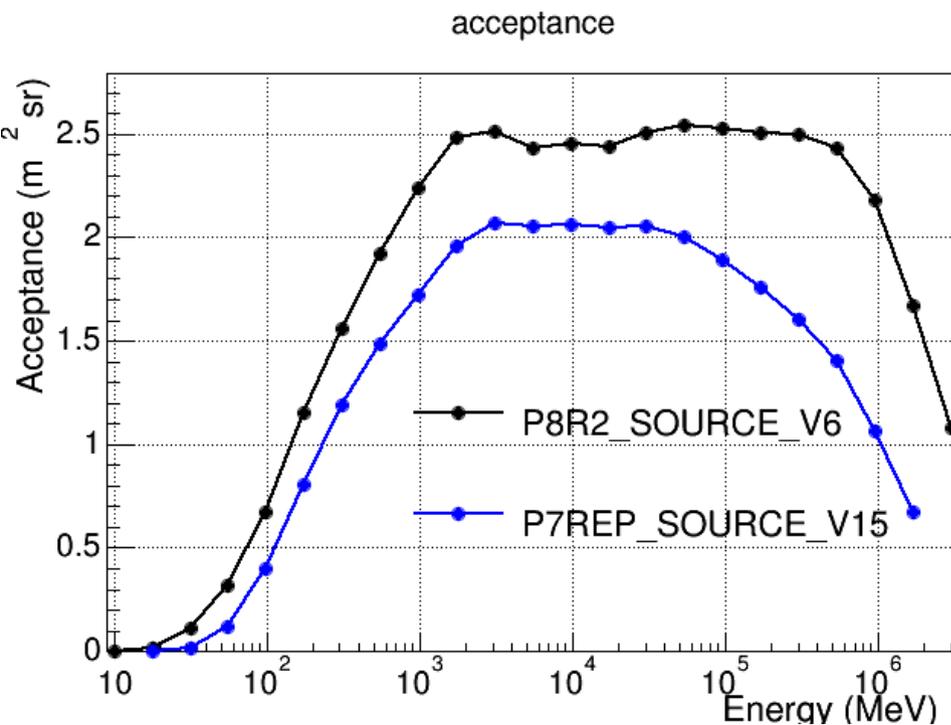
- Historique :
 - v0 = Pass 6
 - problème des fortuits
 - \rightarrow modif de la simulation
 - Pass 7 = nouvelle sélection
 - Pass 8 = refonte complète de la reconstruction et de la sélection



Performances

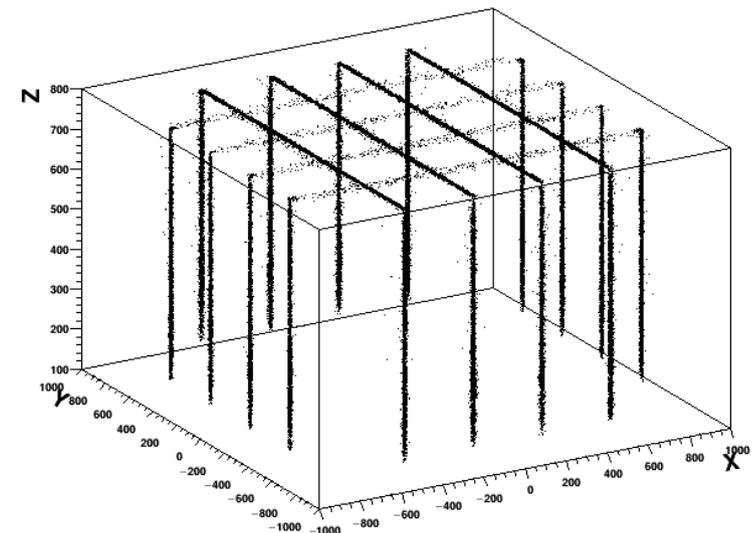
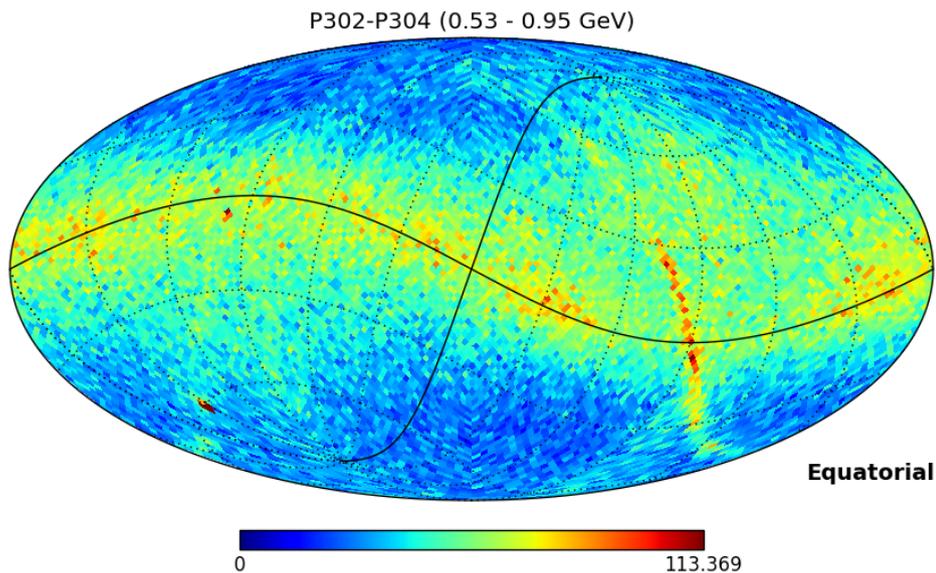
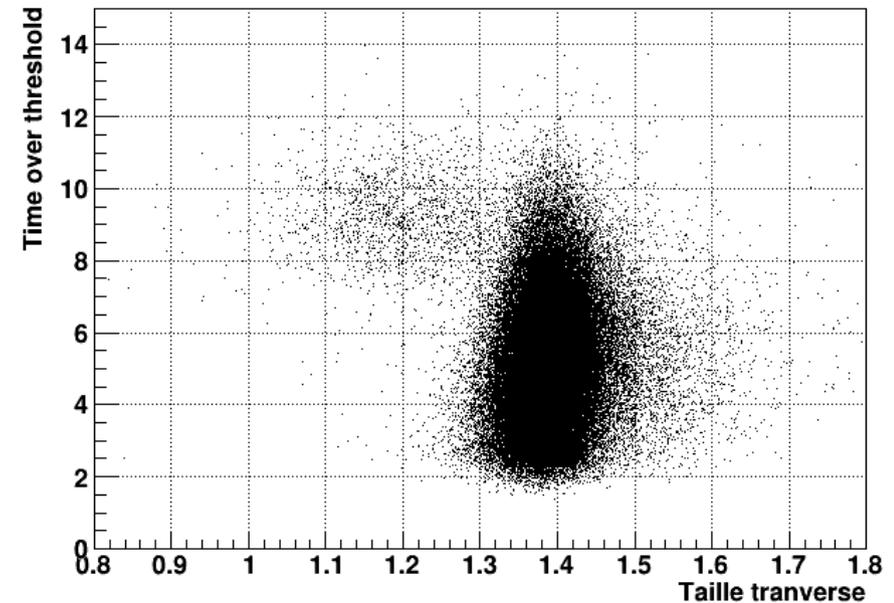
Améliorations des performances depuis le lancement:

- données Pass 6 : 2008-2011
- données Pass 7 : 2011-2013
- données Pass 7 reprocessées avec nouvelle calibration : 2013-2015
- **données Pass 8 disponibles depuis juin 2015**
 - augmentation de l'acceptance pour un même niveau de bruit de fond
 - possibilité de choisir les photons en fonction de la qualité de leur direction



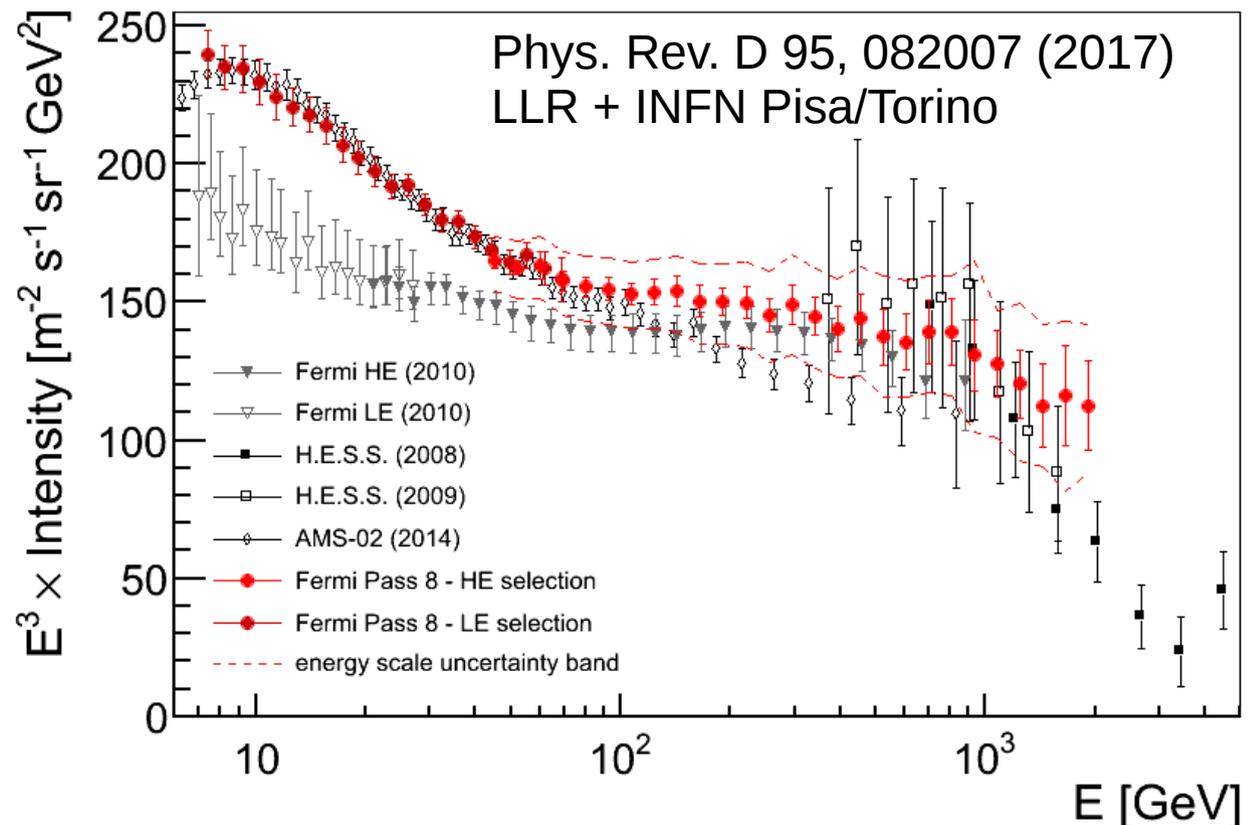
Améliorations 2017

- L'analyse des électrons cosmiques a permis d'améliorer la sélection des gerbes e.m.
- L'application aux photons a permis de mieux estimer/éliminer le bruit de fond dû aux rayons cosmiques :
 - ions lourds entre 30 et 200 GeV
 - électrons entre 30 MeV et 30 GeV
- → Nouvelles données en 2018 : cela implique de convaincre la collaboration que l'amélioration est suffisamment forte pour justifier le travail d'un nouveau data release



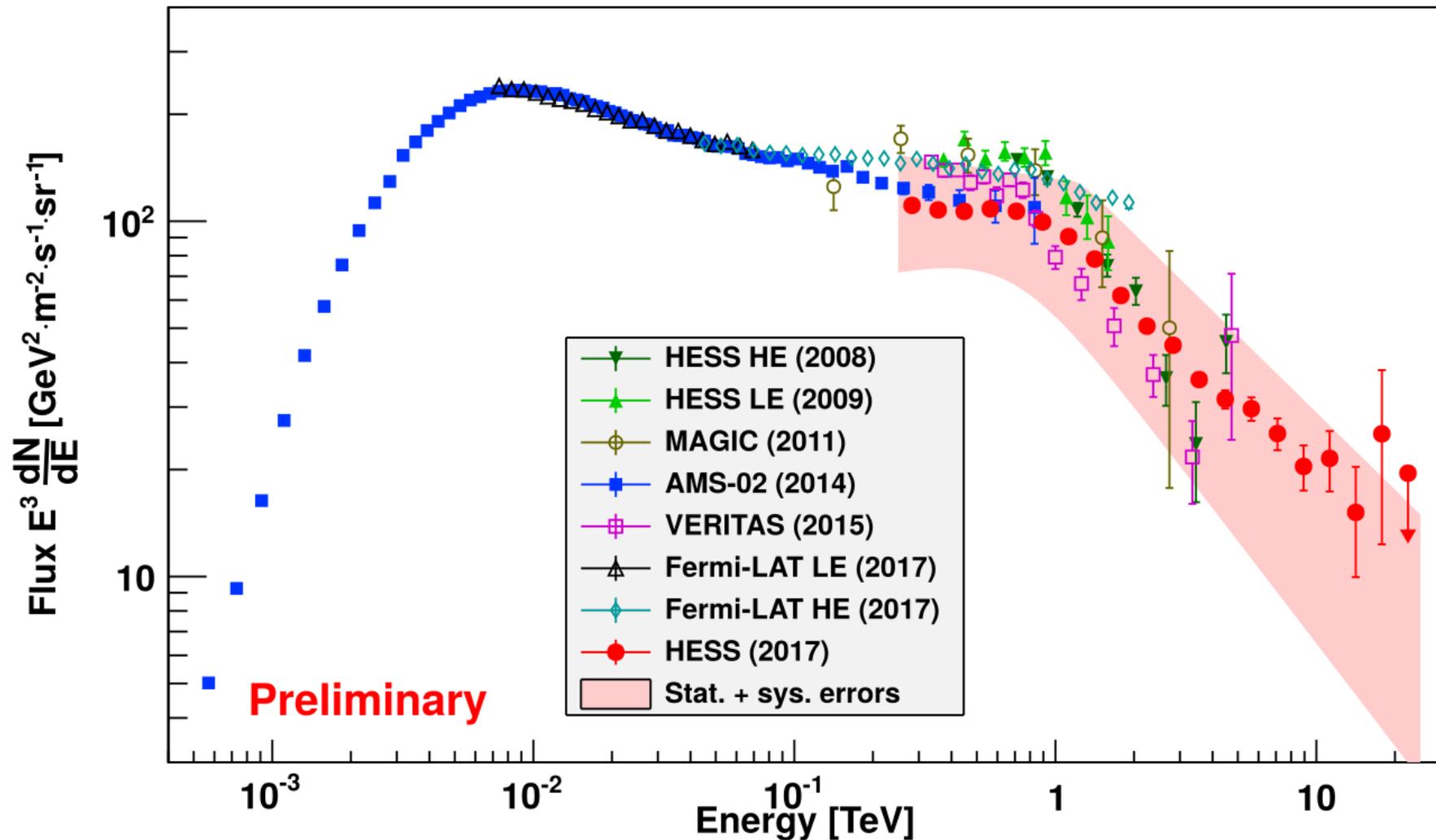
Spectre e⁺/e⁻ 2 TeV (2017)

- Le LAT est aussi capable de détecter/sélectionner les e⁻/e⁺ cosmiques.
- Le but était de faire la première mesure spatiale au dessus de 1 TeV
- Principales difficultés dues au peu d'information disponible (1.4+8.6 X₀ sur axe)
 - mesure de l'énergie au dessus du TeV / réjection des protons
- De nombreuses améliorations par rapport aux mesures précédentes de Fermi
 - correction de l'échelle absolue en énergie
 - optimisation des variables discriminantes
 - BDT par bin en énergie
- Limité par les systématiques :
 - désaccords data/MC
 - mesure en énergie
- Résultats :
 - cassure à ~50 GeV (4σ)
 - pas de cassure au TeV
 - tension avec AMS (2σ)



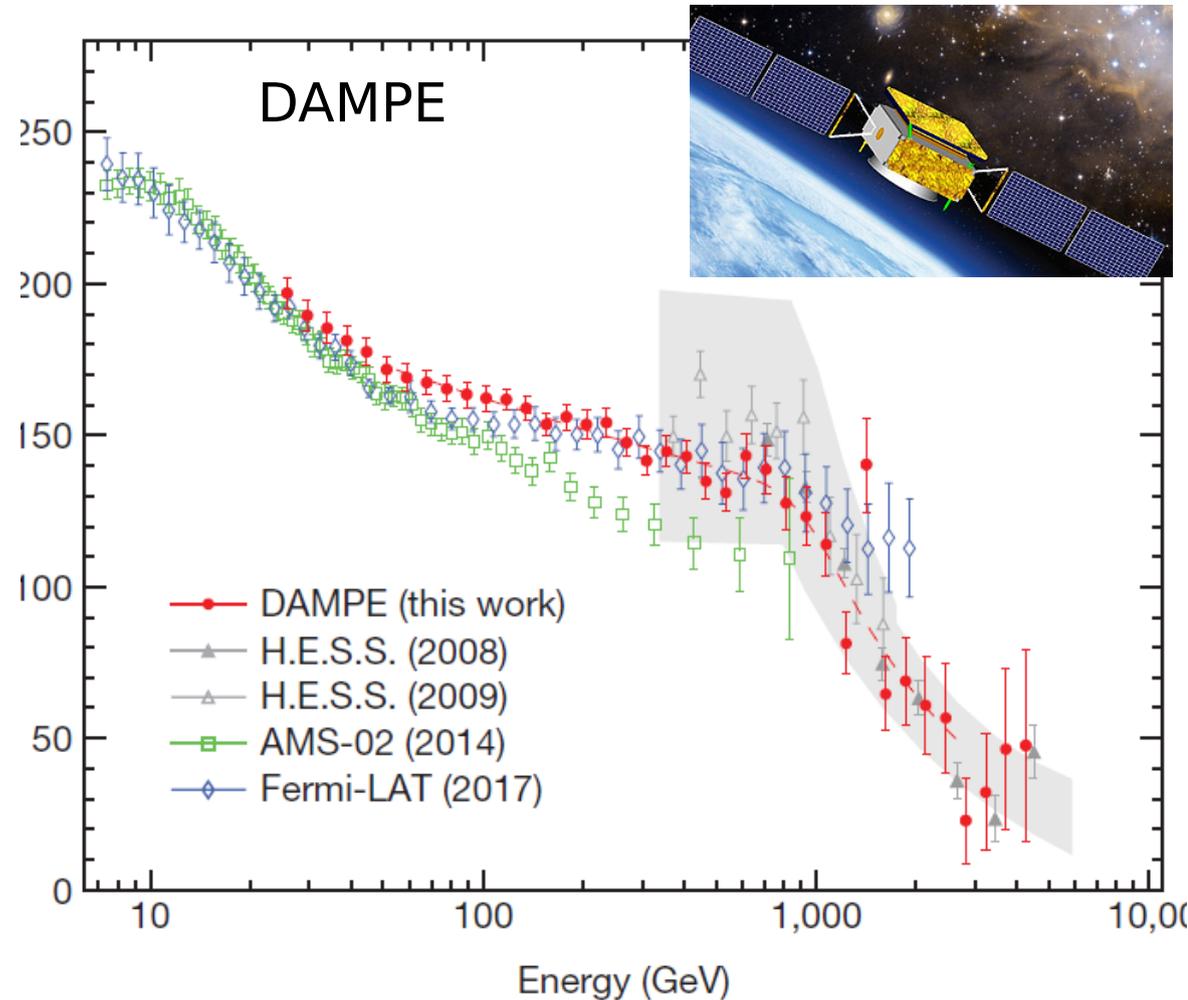
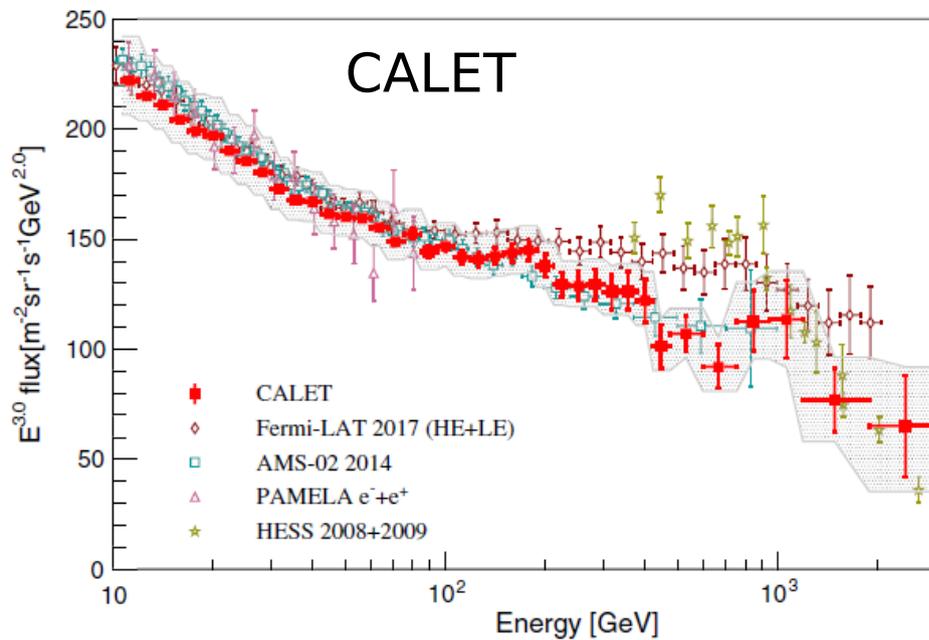
Mesures récentes e⁺/e⁻

- H.E.S.S. (ICRC 07/2017) → 20 TeV : cassure à 0.94 ± 0.3 TeV
- valeurs centrales plus proches de AMS que de Fermi-LAT



Mesures récentes e^+/e^-

- CALET (30 Xo, PRL, 1 Nov 2017) → 3 TeV : pas de cassure, ~AMS
- DAMPE (32 Xo, Nature, 29 Nov 2017) → 4.6 TeV : cassure à 0.9 ± 0.1 TeV
 - plus proche de Fermi-LAT que de AMS !

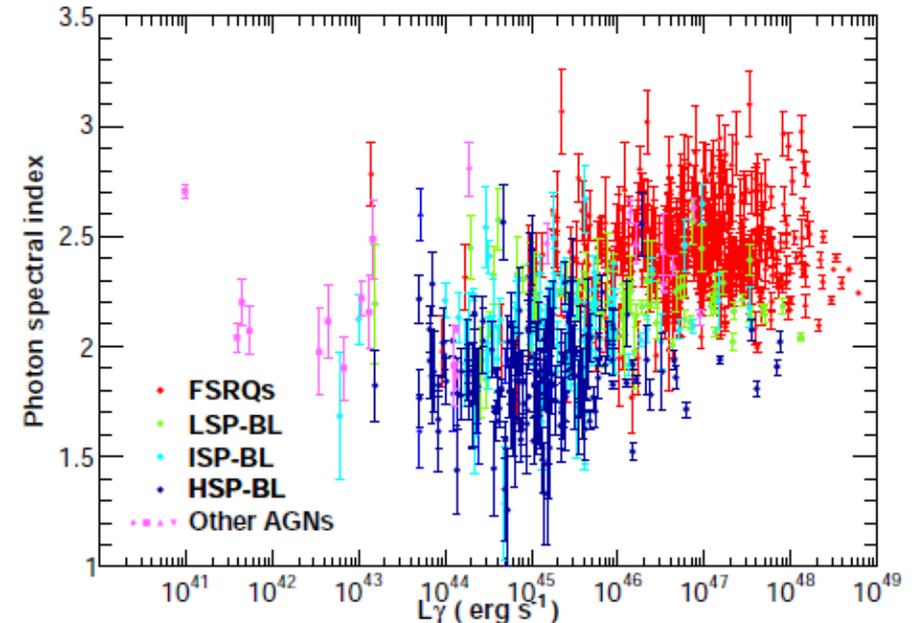
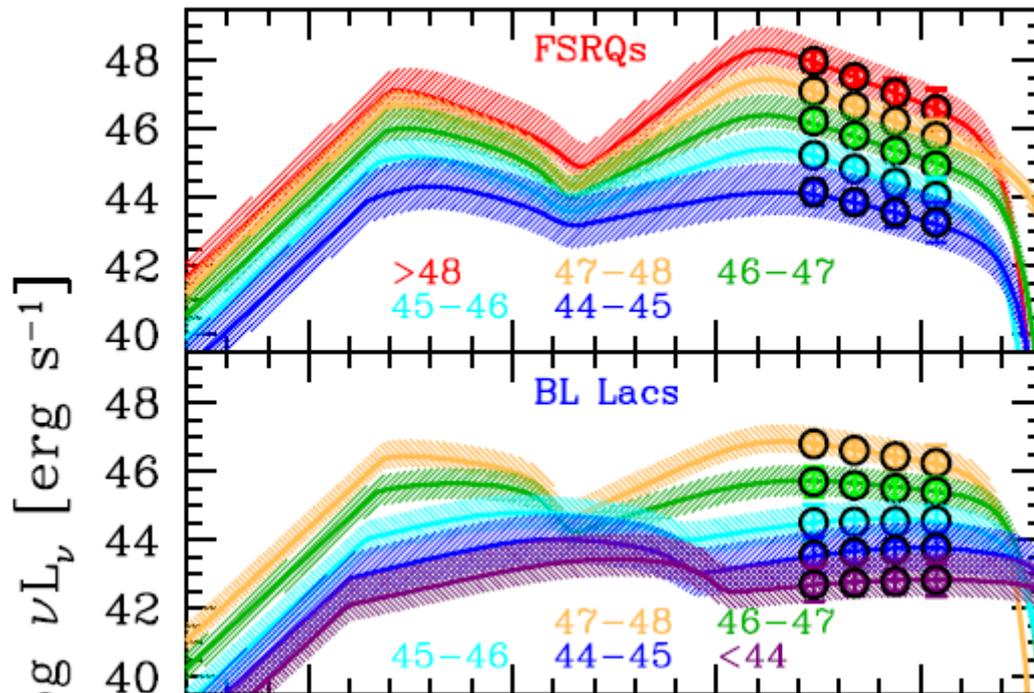
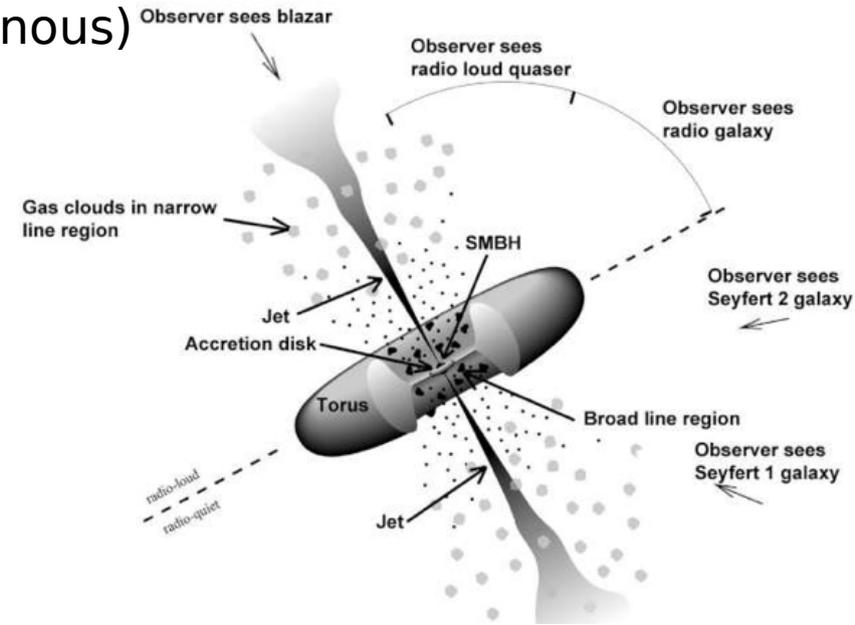


Noyaux actifs de galaxie

Fermi détecte surtout les blazars (jet pointant vers nous)

	luminosité γ	spectre γ	redshift
FSRQs	+	mou	+
BL Lacs	-	dur	-

Les meilleurs candidats GeV-TeV sont les BL Lacs.



Détecter les blazars au TeV

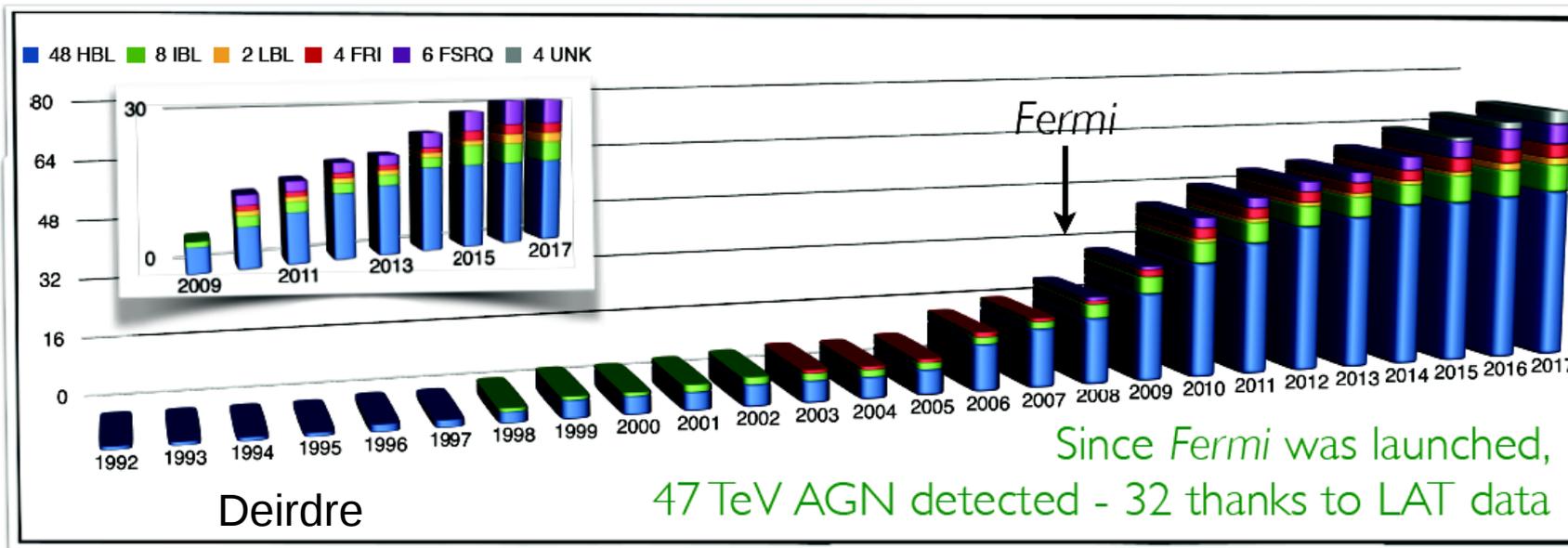
- Fermi Targets Proposed for Observation with VERITAS (2009)
- Fermi Targets for Cherenkov Telescopes based on 24 months of data (2010)
- Catalogues au dessus de 10 GeV : 1FHL (2013), 2FHL (2016), 3FHL (2017)

- TeV instruments are pointed and have relatively small fields of view
- Low duty cycles (~10%)

➔ Need targets

- *Fermi* has a very large field of view - sees a fifth of the sky at any given time
- Surveys entire sky every three hours

➔ Transients, cataloging gamma-ray sky



D'abord HBLs
puis les autres
IBL/LBL/FSRQs

GeV-TeV connection

La plupart des publications sont faites avec VERITAS ou H.E.S.S.

Fermi observations of TeV-selected AGN (2009)

Fermi Observations of the Very Hard Gamma-ray Blazar PG 1553+113 (2009)

Simultaneous Observations of PKS 2155-304 with HESS, Fermi, RXTE, and Atom: Spectral Energy Distributions and Variability in a Low State (2009)

The discovery of γ -ray emission from the blazar RGB J0710+591 (2010)

Simultaneous multi-wavelength campaign on PKS 2005-489 in a high state (2011)

The Discovery of High Energy and Very High Energy γ -Ray Emission from the Blazar RBS 0413 (2012)

Discovery of hard-spectrum gamma-ray emission from the BL Lacertae object 1ES 0414+009 (2012)

HESS and Fermi-LAT discovery of γ -rays from the blazar 1ES 1312-423 (2013)

Discovery of high and very high-energy emission from the BL Lacertae object SHBL J001355.9-185406 (2013)

Discovery of a new TeV gamma-ray source: VER J0521+211 (2013)

The First Fermi-LAT Catalog of Sources Above 10 GeV (2013)

Rapid and multiband variability of the TeV bright active nucleus of the galaxy IC 310 (2014)

The host galaxy and Fermi-LAT counterpart of HESS J1943+213 (2104)

The 2012 flare of PG 1553+113 seen with H.E.S.S. and Fermi-LAT:

Constraints on the source redshift and Lorentz invariance violation (2015)

From Radio to TeV: The surprising Spectral Energy Distribution of AP Librae (2015)

VERITAS Observations of Six Bright, Hard-Spectrum Fermi-LAT Blazars (2015)

The high-energy γ -ray emission of AP Librae (2015)

A luminous and isolated gamma-ray flare from the blazar B2 1215+30 (2017)

TeVcat

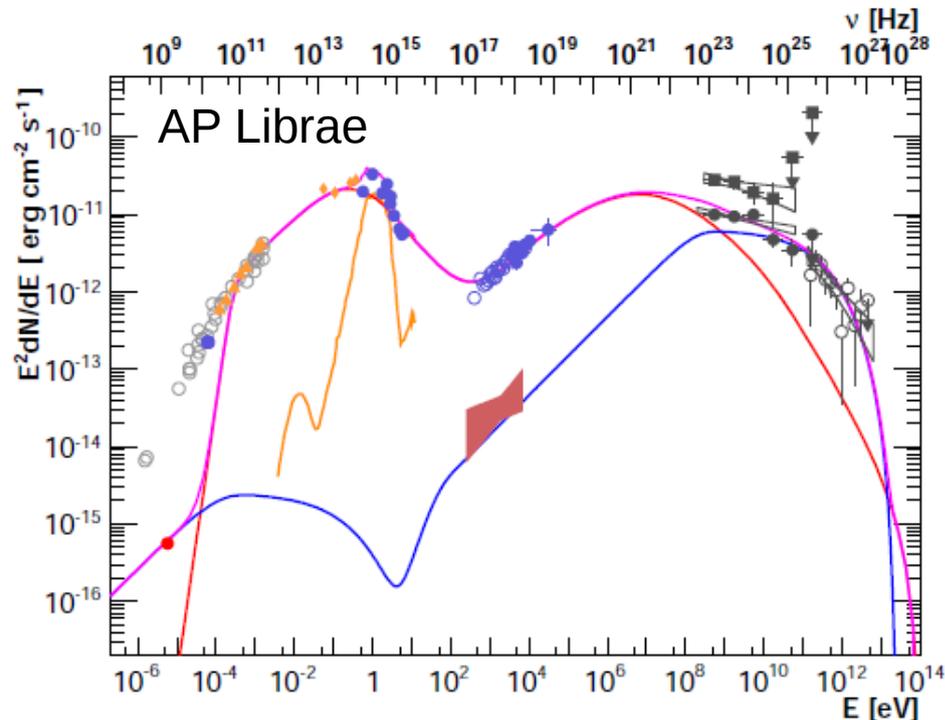
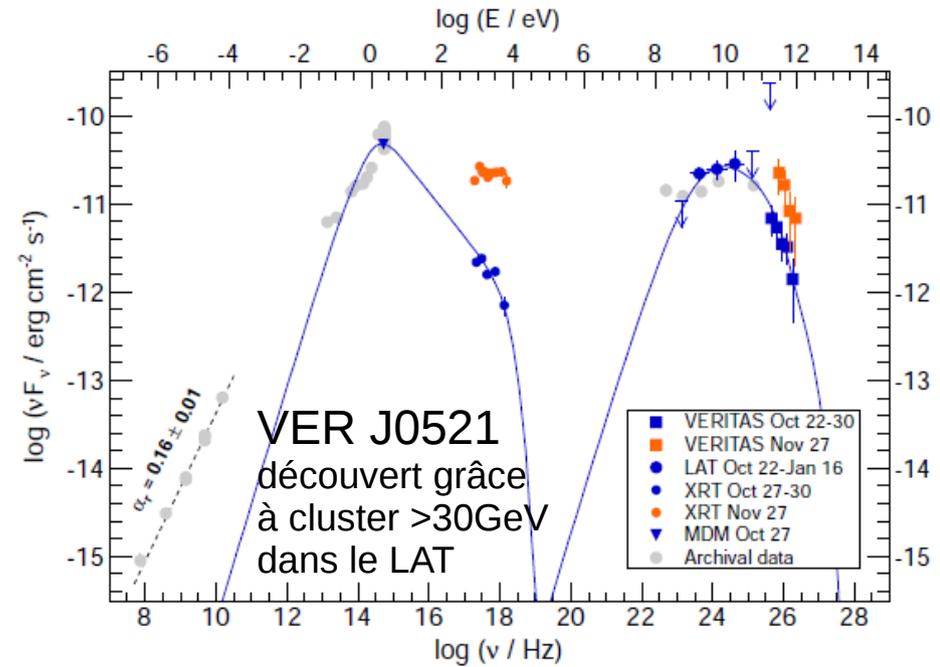
TeVcat is an online catalog for TeV Astronomy (S. Wakely & Deirdre Horan)

The screenshot displays the TeVcat web interface. On the left is a navigation sidebar with links for Home, Recently Viewed, TeV Astrophysics, Tools, About TeVcat, and TeVcat Labs. The main content area is titled 'Home' and features a sky map with a grid of celestial coordinates. Numerous colored dots represent astronomical sources. Below the map, a metadata box for source '1ES 1440+122' is shown, listing its source type (XGal | AGN | Blzr | BLLac | HBL), distance (8.4379), and galactic coordinates (GLON: 8.4379, GLAT: 59.7453). On the right, a search and filter panel includes a 'RegExp Search' input, filters for 'Type' and 'Observer', and buttons for 'AND', 'Sync To Map', 'Filter Selected', 'Reset', and 'Table Columns'. Below this is a table of 207 sources with columns for Name, RA, Dec, Type Tags, Distance, and Catalog.

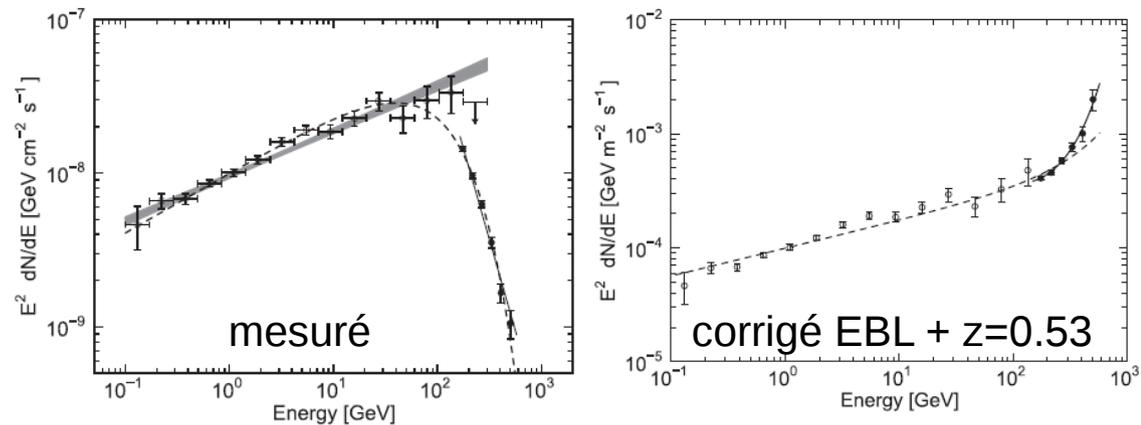
Name	RA	Dec	Type Tags	Distance	Catalog
CTA 1	00 06 26	+72 59 01.0	Gal,SNR,PWN	1.4 kpc	Default Catalog
SHBL J001355.9-185406	00 13 52.0	-18 53 29	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.095	Default Catalog
Tycho	00 25 21.6	+64 07 48	Gal,SNR,Shell	3.5 kpc	Default Catalog
KUV 00311-1938	00 33 34.2	-19 21 33	XGal,AGN,Blzr,BLLa...		Newly Announced
1ES 0033+595	00 35 16.8	+59 47 24.0	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.467	Default Catalog
NGC 253	00 47 34.3	-25 17 22.6	XGal,*B1st	2500.0 kpc	Default Catalog
S2 0109+22	01 12 05.8	+22 44 39	XGal,AGN,Blzr,IBL	z=0.265	Newly Announced
RGB J0136+391	01 36 32.5	+39 06 00	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.0	Newly Announced
RGB J0152+017	01 52 33.5	+01 46 40.3	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.08	Default Catalog
3C 58	02 05 31	+64 51 00	Gal,SNR,PWN	2.0 kpc	Default Catalog
S3 0218+35	02 21 05.5	+35 56 14	XGal,AGN,Blzr,FSRQ	z=0.954	Default Catalog
3C 66A	02 22 41.6	+43 02 35.5	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.34	Default Catalog
MAGIC J0223+403	02 23 12	+43 00 42	UNID		Default Catalog
1ES 0229+200	02 32 53.2	+20 16 21	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.1396	Default Catalog
1RXS J023832.6-311658	02 38 32.5	-31 16 58	XGal,Blzr,BLLac,HBL	z=0.232	Newly Announced
LS I +61 303	02 40 34	+61 15 25	Gal,BIN	2.0 kpc	Default Catalog
PKS 0301-243	03 03 23.49	-24 07 35.86	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.2657	Default Catalog
IC 310	03 16 43.0	+41 19 29	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.0189	Newly Announced
RBS 0413	03 19 47	+18 45 42	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.19	Default Catalog
NGC 1275	03 19 48.1	+41 30 42	XGal,AGN,FR-I	z=0.017559	Default Catalog
1ES 0347-121	03 49 23.0	-11 58 38	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.188	Default Catalog
1ES 0414+009	04 16 52.96	+01 05 20.4	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.287	Default Catalog
PKS 0447-439	04 49 28.2	-43 50 12	XGal,AGN,Blzr,BLLa...	z=0.343	Default Catalog

Etudes spectrales

- Etudes multi-longueurs d'onde
- Modèle Synchrotron Self-Compton :
 - émission gamma = IC des électrons sur leur propre émission synchrotron
 - 1 zone mais parfois 2 zones
 - fit avec de nombreux paramètres
 - electron spectrum, R , δ , B
- EBL attenuation : les données GeV-TeV peuvent contraindre le redshift, qui n'est pas toujours connu pour les BL Lacs

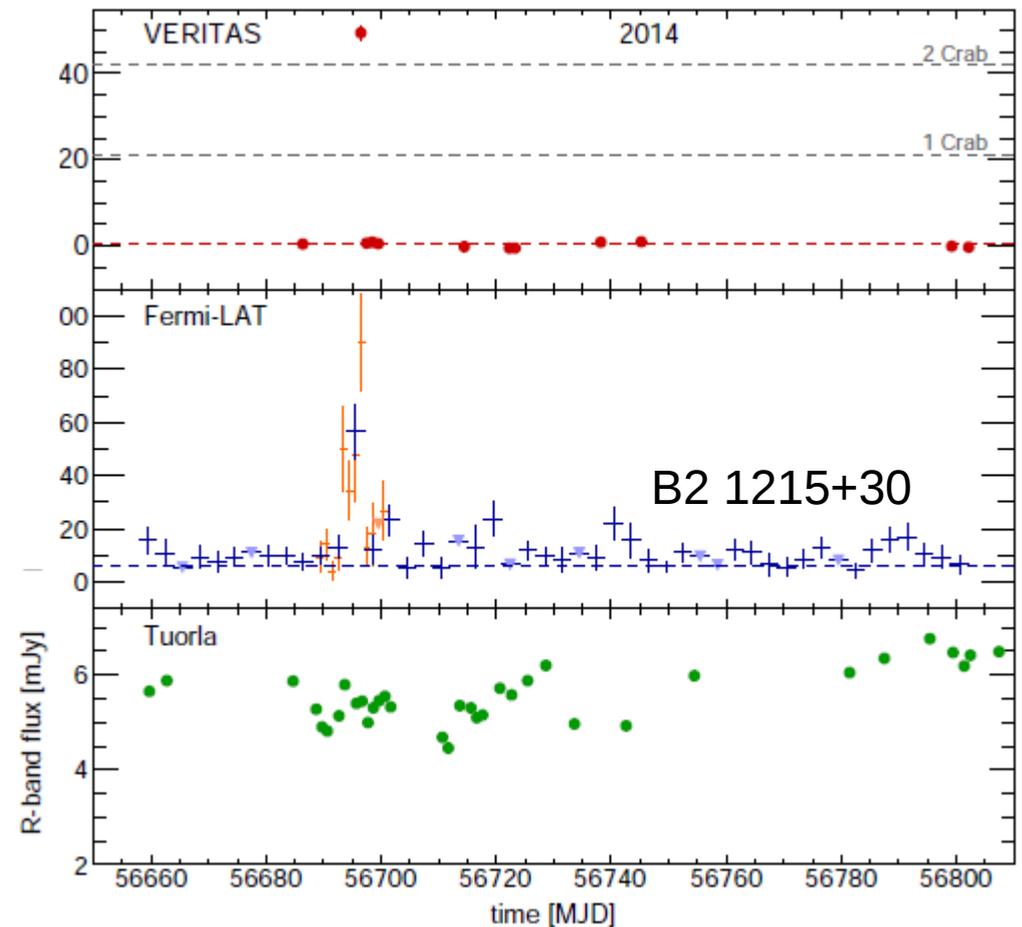


PG 1553



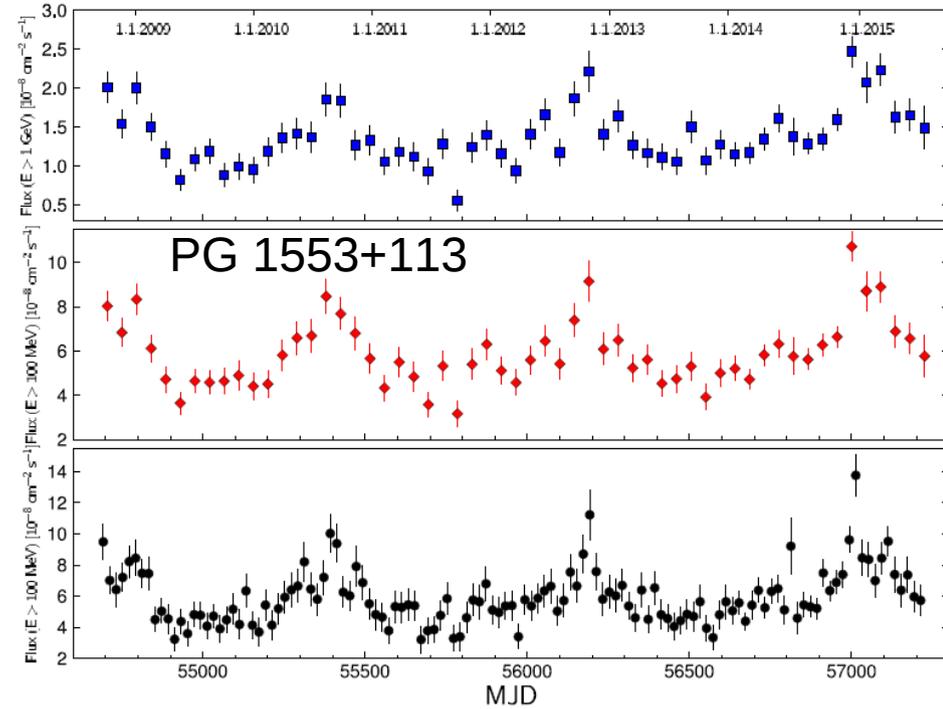
Variabilité : sursauts

- La mesure des sursauts donne un accès plus direct à la physique sous-jacente
 - taille de la zone d'émission
 - facteur Doppler
- Etude multi-longueurs d'onde
 - importance de la polarisation
- Activité Flare advocate
 - détecter les sursauts dans Fermi
 - → Astronomer's Telegrams (ATels)
- Astronomie multi-messagers
 - Recherche de sursauts corrélés avec les neutrinos d'Icecube

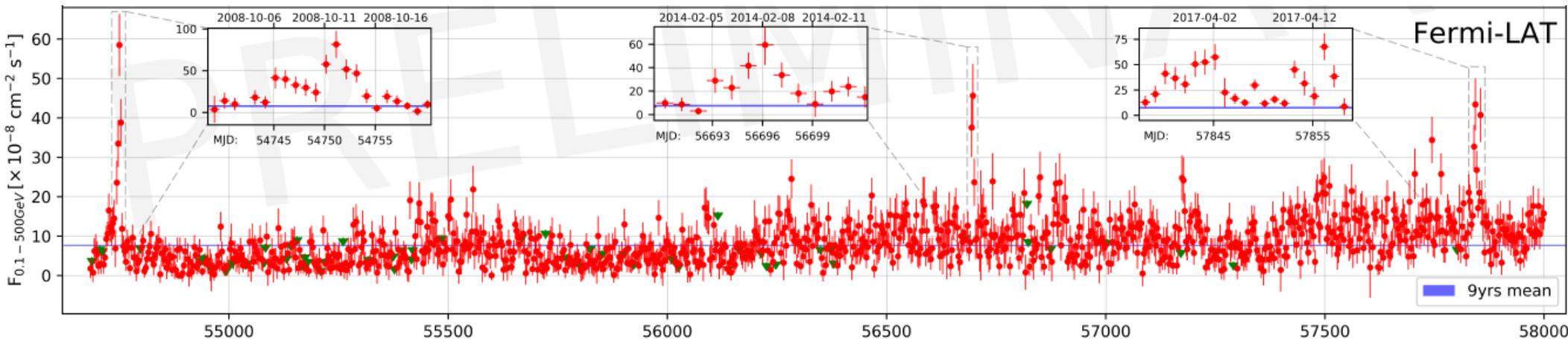


Variabilité basse fréquence

- Fermi effectue la mesure la plus complète des courbes de lumière sur >9 ans
- Cela permet de rechercher des périodicités ou quasi-périodicités avec des longues périodes
- Précession du jet, binaire de trous noirs ???



1ES 1215+303 (Janeth's poster Fermi symposium 2017)



Futur de Fermi : mission

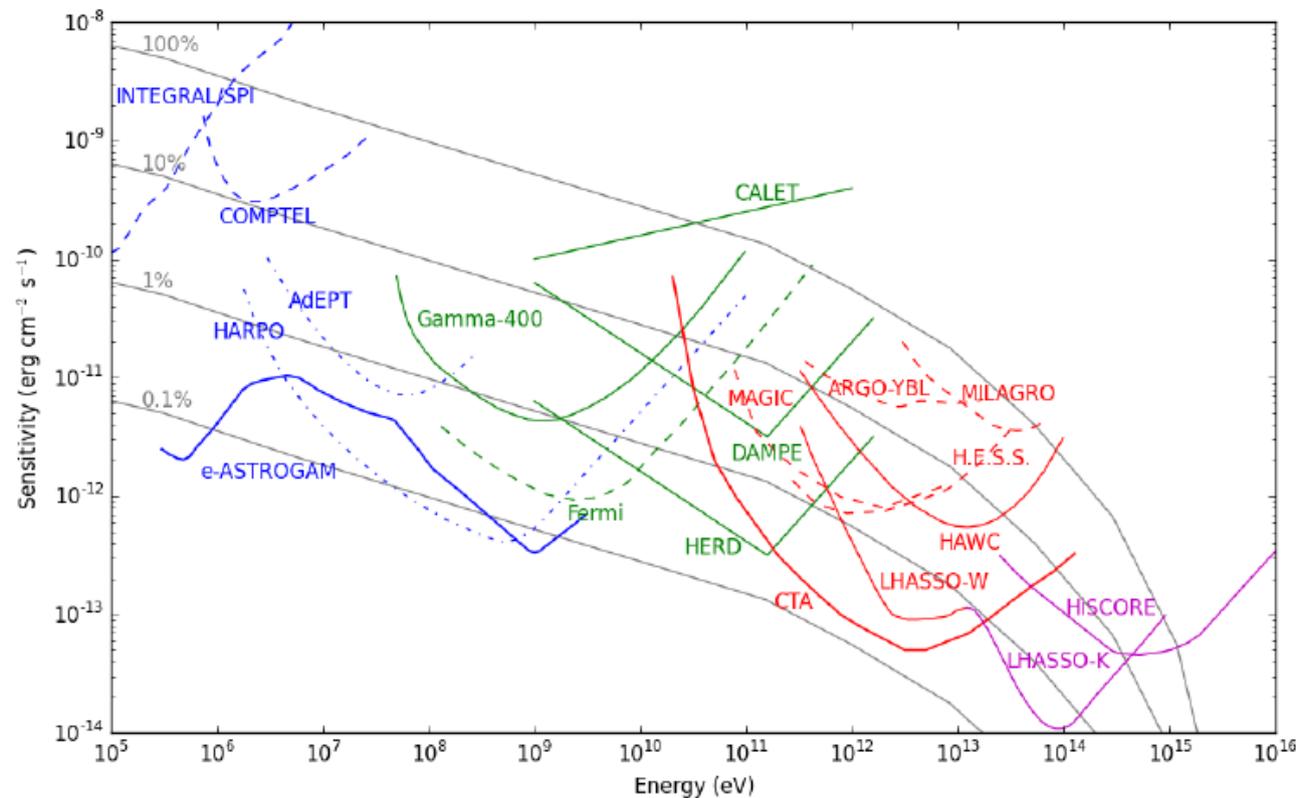
- La mission Fermi était financée pour 5+5 ans.
- Après les 5 premières années, Fermi passe la NASA Senior Review tous les 2 ans afin d'être prolongée pour les 2 ans qui suivent (2014, 2016)
- Le cycle des Senior Review est passé à 3 ans : la prochaine en 2019.
- Août 2017 : détection du GRB 170817A par le GBM, contrepartie gamma de l'onde gravitationnelle GW 170817.
- Il est fort probable que Fermi sera prolongé de 3 ans en 2019

→ 2022

- L'horizon temporel du LAT change : il passe de 2 ans à plus de 4 ans !

Futur de Fermi : astrogamma

- HERD (>2020) : 10 GeV → 10 TeV
- GAMMA-400 (~2025) : 20 MeV → 1 TeV
- e-ASTROGAM/AMEGO (~2029) : 0.2 MeV → 10 GeV
- CTA (2019-2021) : 30 GeV → 200 TeV



- Il est donc fort probable que Fermi volera encore quand CTA débutera.
- Il est aussi fort probable que les données MeV-TeV de Fermi seront les seules disponibles pendant longtemps.

Futur de Fermi au LLR

- Travail sur l'optimisation des performances en fond de tâche
- Etude de l'émission du fond diffus gamma → 2 TeV
- Outils de vérification du 4FGL et les futurs catalogues de Fermi
- Blazars :
 - Analyses GeV-TeV
 - Études temporelles
 - sursauts
 - recherche de périodicité
 - processus stochastiques
- Mesure de polarisation ?? (D. Bernard)

Conclusions

- On essaie toujours de Fermieux
- On est loin de la Fermiture
- En short : c'est Fermi, Fermidable !

Missions astrogamma

Parameter	AdEPT	e- ASTROGAM	CALET	DAMPE	GAMMA-400	HARPO	HERD	PANGU
Context	R&D	M5?	ISS	China	Russia	R&D	China	ESA/CAS?
Launch date	–	2029?	2015	2015	~ 2021	–	> 2020	2021?
Energy range (GeV)	0.005 - 0.2	0.0003 - 3	0.02 - 10000	2 - 10000	0.1 - 3000	0.003 - 3	0.1 - 10000	0.01 - 5
Ref. energy (GeV)	0.07	0.1	100	100	100	0.1	100	1
$\Delta E/E$	30%	30%	2%	1.5%	1%	10%	1%	30%
A_{eff} (cm ²)	500	1500	t.b.d.	3000	5000	2700	t.b.d.	180
Sensitivity (mCrab)	10	10	1000	100	100	1	10	t.b.d.
Field of view (sr)	t.b.d.	2.5	1.8	2.8	1.2	t.b.d.	t.b.d.	2.2
Angular resolution	1°	1.5°	0.1°	0.1°	0.02°	0.4°	0.1°	0.2°
MDP (10 mCrab)	10%	20%	–	–	–	t.b.d.	–	t.b.d.
Technology	TPC	Si+CsI	fib.+PbWO ₄	Si+BGO	Si+CsI	TPC	Si+LYSO	Si (fib.)+B

Table 1

Summary of instruments and mission concepts for space-based gamma-ray astronomy (see text). MDP indicates the minimum detectable polarisation of an instrument. Detector technologies comprise time projection chambers (TPC), silicon trackers (Si), cesium iodide scintillators (CsI), scintillating fibers (fib.), lead tungstate scintillators (PbWO₄), bismuth germanate scintillators (BGO), lutetium yttrium orthosilicate scintillators (LYSO), and magnetic spectrometers (B).