

Accomplissements avec le *Fermi* LAT à l'In2p3

Conseil Scientifique de l'Institut, 31 janvier 2013

Pré-lancement

- ▶ **1994:** Eric Paré et Patrick Fleury démarrent GLAST à l'In2p3. Premier projet spatial pour L'In2p3.
- ▶ Isabelle Grenier, Jacques Paul démarrent GLAST au CEA.

- ▶ **1999:** La France travaille avec le Naval Research Laboratory (Washington) au design du calorimètre. Reposeur, Djannati, Bogaert actifs. Le CEA s'engage aussi dans la préparation du catalogue de sources, y compris le modèle du fond diffus.

- ▶ **2002 à 2008:** Lott et al caractérisent des prototypes du calorimètre Csl sous faisceaux GSI, Ganil, CERN. Préparation de la calibration en vol avec les ions cosmiques.
- ▶ Thémis terminé en ~2005, les équipes CAT & Celeste renforcent HESS & GLAST.

- ▶ **2003:** Le CNES ne financera pas GLAST. Henri Videau conserve la place de l'In2p3.
- ▶ Design et réalisation de la structure en fibre de carbone du calorimètre, de ses tests environnementaux, et des outils d'intégration confiés à Oscar Ferreira et al (LLR).

- ▶ **2003-2008:** Des "Data Challenges" d'envergure croissante. Les physiciens de l'In2p3 investis dans l'instrument s'engagent dans l'analyse des données et dans leur interprétation astrophysique.

- ▶ **>2006:** Smith, Dumora responsables de la chronométrie des pulsars. Débogage des horloges GPS.
- ▶ **2007:** Extension du pipeline du LAT au CC-In2p3 (simulations MC).

- ▶ **11 Juin 2008:** Lancement sans faille du Cap Canaveral.
- ▶ « Commissioning » du LAT au SLAC, coordonné par Bruel. Satellite re-baptisé *Fermi*.

La mission

- ▶ La NASA a garanti 5 ans après le lancement (11 juin 2008).
- ▶ 2012 NASA Senior Review: prolonger la mission au moins jusqu'en 2016 (coût: 25 M USD/an)

▶ Spécificités

Données publiques pour les γ 's depuis août 2009, **privées** pour les électrons, protons, ions.

Enormes avantages d'être dans la collaboration :

- Primeur des données « reprocessées », des mises à jour des modèles de fond, des techniques d'analyse, du catalogue de sources (avec de fortes contributions de notre part).
- Interaction privilégiée avec les leaders du domaine, en particulier les théoriciens, et des astronomes dans d'autres bandes d'énergie. Réunions hebdomadaires ('SeeVogh'), et wiki.

Collaboration *Fermi* LAT (Large Area Telescope)

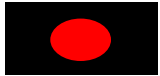
P.I.: Professor Peter Michelson, Stanford University



~120 « full members » + postdocs, étudiants, et « affiliés ».



5 pays constructeurs du LAT.
(13 pays avec des membres.)



En France en dehors de l'In2p3:



Le laboratoire AIM au CEA-Saclay est responsable du catalogue des sources et du modèle diffus
(Isabelle Grenier, Jean Ballet, Jean-Marc Casandjian) .



Jürgen Knödseder, IRAP Toulouse: identification des sources.



Fermi s'appelait « GLAST » avant son lancement.

Fermi à l'IN2P3



(8.4 ETP)

5 Permanents: Dumora, Lemoine-Goumard, Lott, Reposeur, Smith
Postdocs: Dalton, Méhault
Thèses: Hou, Rousseau



(3.8 ETP)

4 Permanents : Bruel, Fegan, Giebels, Horan
(ITA : Emilia Becheva)



(6.1 ETP)

3 Permanents : Cohen-Tanugi, Nuss, Piron
Postdoc : Vasileiou
Thèses: Falletti, Desgardin
(ITA : Lavalley, Rolland)

*Total: 12 permanents (18.3 ETP)
(dont 4 financé par l'ERC jusqu'en 2014)*

Affiliés :

Renaud (LUPM), Cognard, Theureau (Nançay), Dubus (IPAG)

Responsabilités In2p3 dans la collaboration

Coordinateurs des 9 groupes de travail (rotation tous les ~2 ans)

- Benoit Lott (AGN) : 2004-2009 + coordinateur des tests sous faisceaux
- David Smith (Galactic sources) : 2007-2010
- Philippe Bruel (Calibration & analysis) : 2007-2009 + Beamtest analysis
- Frédéric Piron (GRB) : 2008-2010
- Steve Fegan (AGN) : 2010-2012
- Marianne Lemoine-Goumard (SNR/PWN): 2008-2012
- Vlasios Vasileiou (GRB) : 2011-2012
- Johan Cohen-Tanugi (Diffuse) : 2013 –

(sans compter nos anciens étudiants en postdoc ailleurs...)

Coordination de l'ensemble des groupes de travail

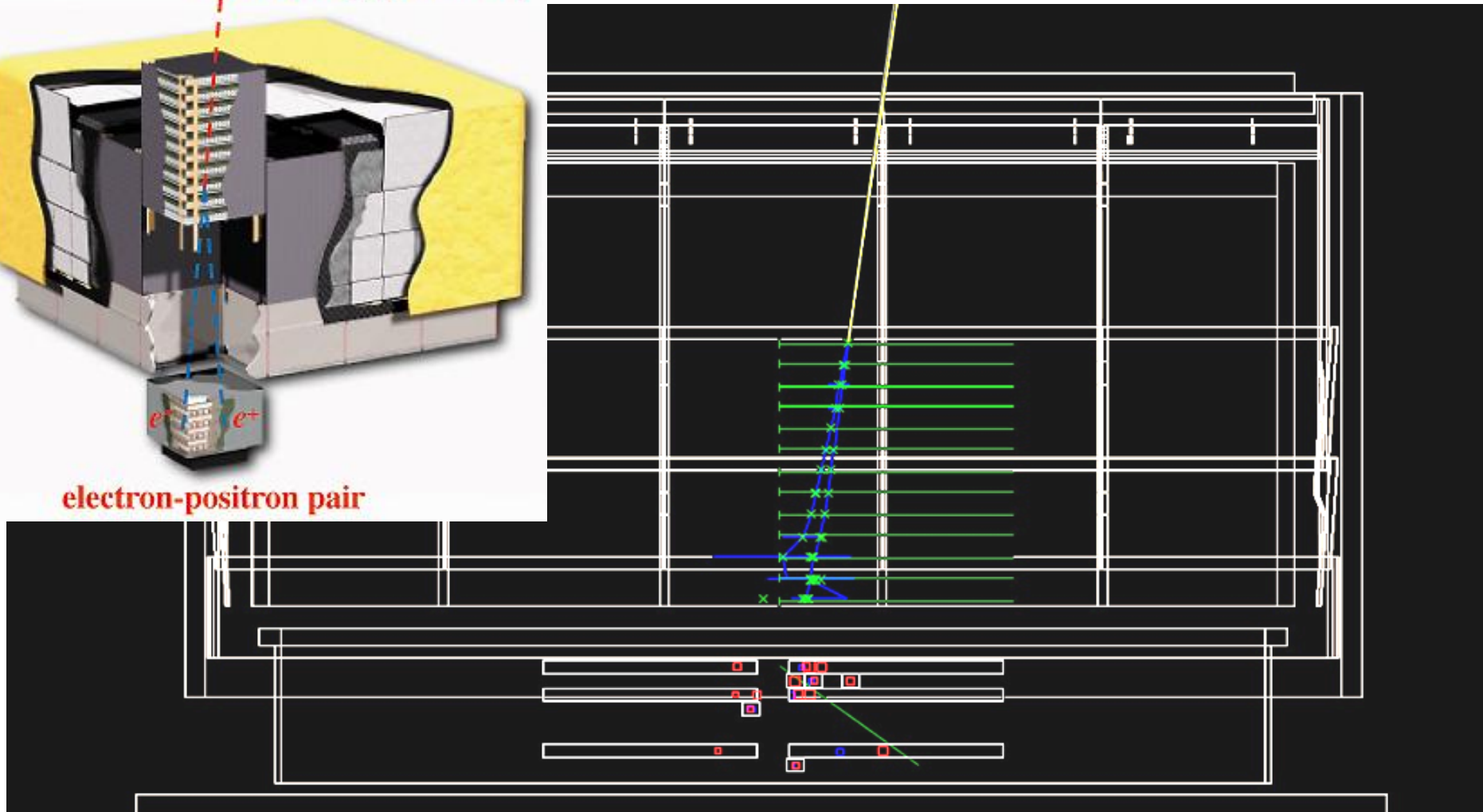
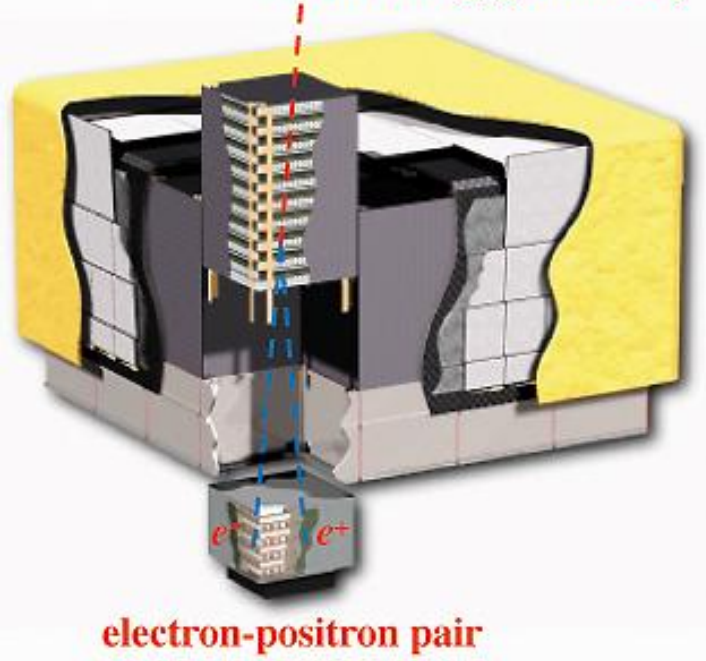
- Ph. Bruel, Analysis Coordinator: Deputy, 2013-'14, Chef@SLAC, '14-'15

Speaker's Bureau

- Deirdre Horan : 2010-2012
- David Smith : 2012-

LAT Gamma-ray Candidate Event

γ , incoming gamma ray



The green crosses show the detected positions of the charged particles, the blue lines show the reconstructed track trajectories, and the yellow line shows the candidate gamma-ray estimated direction. The red crosses show the detected energy depositions in the calorimeter.

TKR: 800k micropistes de silicium, 1 longueur de radiation.

CAL: 1536 barreaux de CsI (8 longueurs de radiation)

Large Area Telescope 20 MeV à >300 GeV

Grand champ de vue: **2.4 sr**
20% du ciel à chaque moment.

~8000 cm² au dessus de 1 GeV

Qqs sources brillantes détectées en moins d'un jour. 1873 sources en 2 ans.

Balayage permanent du ciel
Objets connus et inattendus.
Variabilité. Intégration continue.

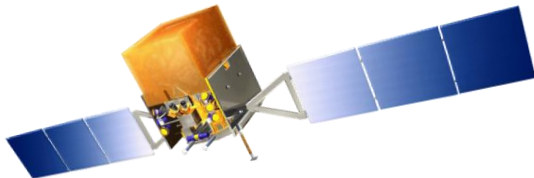
Bonne résolution angulaire

PSF <1° @ 1 GeV, $\propto E^{-0.8}$

Localisation $\propto \text{PSF}/\sqrt{N_\gamma} \sim \text{arcmin}$

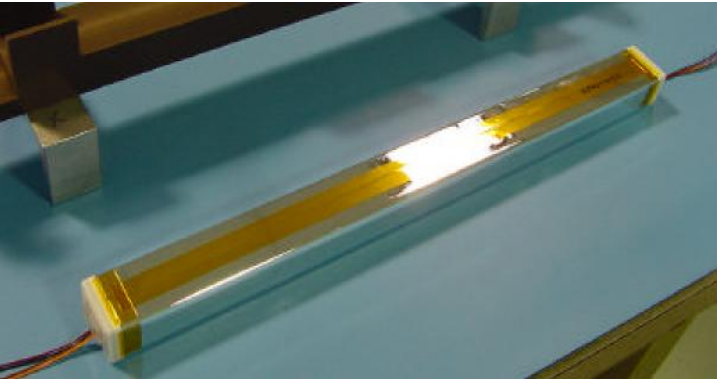
→ Confusion de sources gérable.

→ Morphologie des sources



GBM Gamma-ray burst monitor

Eléments du calorimètre.



au GSI

Communication

- **Conférences, réunions, prix**

Organisation de réunions de groupe: 6.

Conférences invitées: 27.

Séminaires en France: 7, à l'étranger: 12.

Prix de thèse: 2.

- **Vulgarisation**

Conférence de presse avant le lancement (le Monde, le Nouvel Obs....)

Interviews presse+ radio régionales : 11.

Interviews télévision national, régional: 1, 1.

Communiqués de presse In2p3/CNRS : 8.

Citations dans presse nationale (Ciel et espace, Sciences et Avenir, Elle...)

Articles dans le Journal du CNRS (x3) , Courrier du Cern

Conférences grand public: ~40.

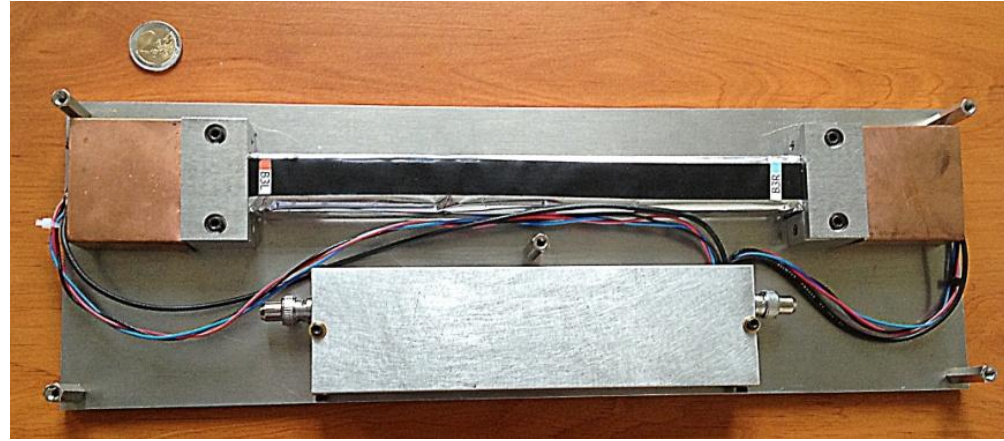
Interventions dans les Lycées: ~20.

Vidéo ludique, et dépliant, grand public, « *Glast au CENBG* »

Vulgarisation, suite:

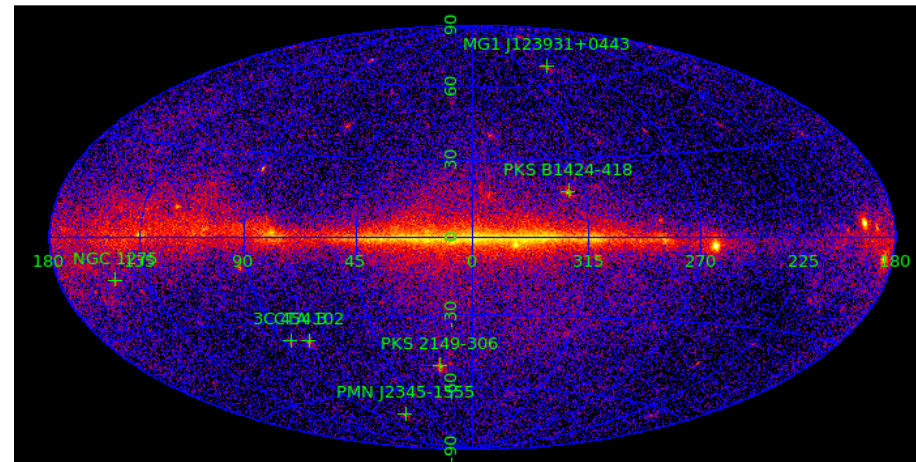
Projet COSMIX/COSMAX au CENBG*

COSMIX: Barreaux Csl des tests du calorimètre pour des lycées, comme détecteurs de muons.



COSMAX: Machines virtuelles VMware Linux pour explorer les données du Fermi-LAT.

Exemple: création de cartes du ciel par des professeurs de lycée ou clubs d'astronomie...



* ftp://www.cenbg.in2p3.fr/astropart/VM/tutoriel_analyse.pdf

Hors plan: Les AGN et autres galaxies dominant.

Dans la Voie Lactée: >90% des sources sont des pulsars.

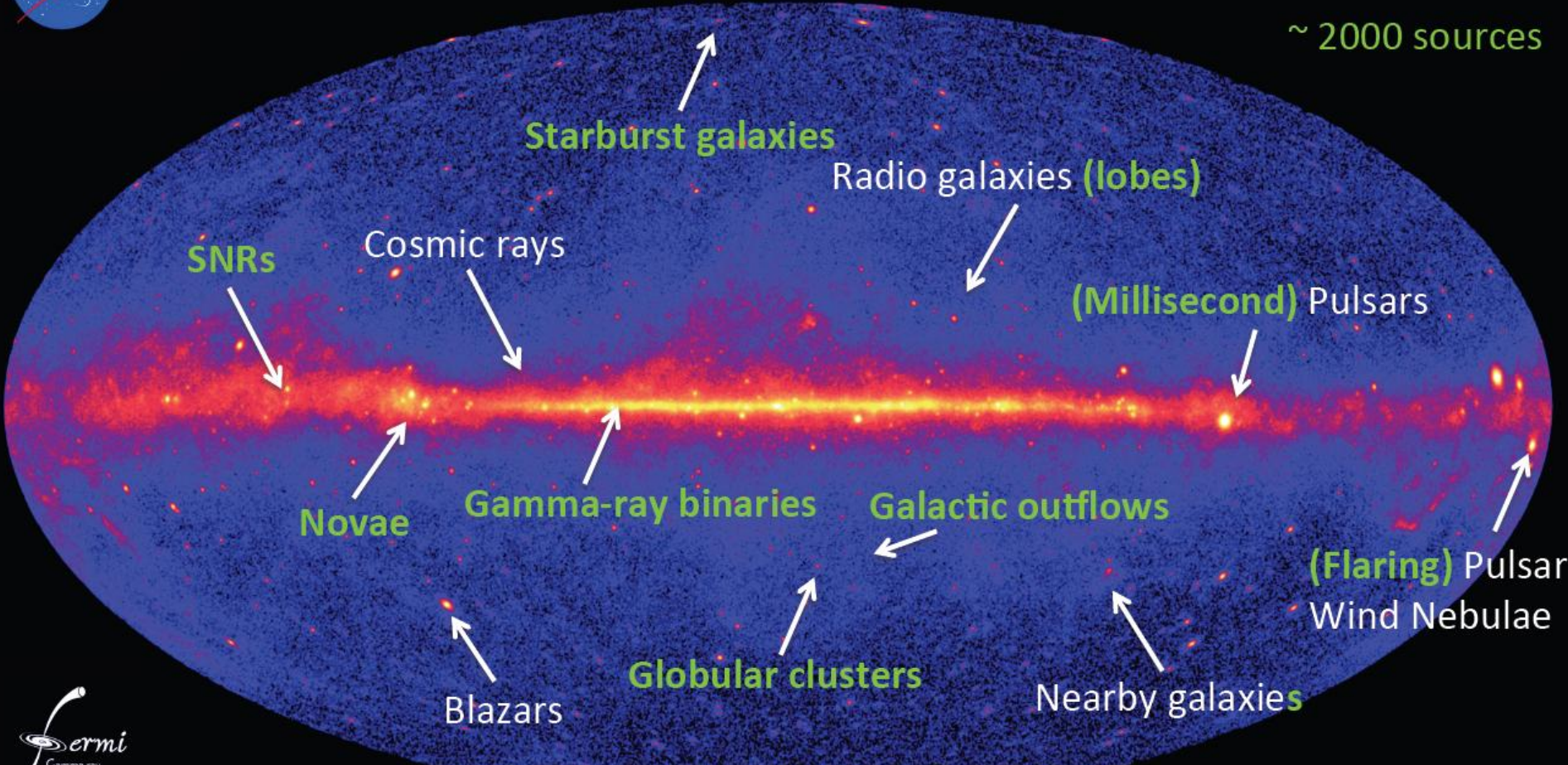
35 sursauts gamma LAT (des 733 avec *Fermi*) après 3 ans.

Emission diffuse intense (protons + gaz $\rightarrow \pi \rightarrow \gamma$'s)



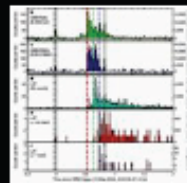
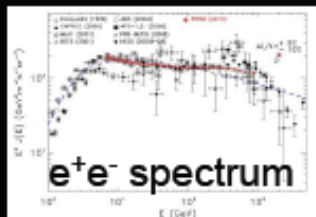
Fermi two-year all-sky map

~ 2000 sources

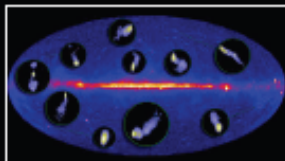




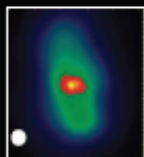
Fermi Highlights and Discoveries



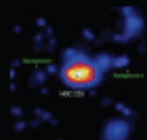
GRBs



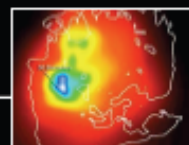
Blazars



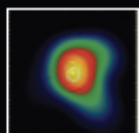
Radio Galaxies



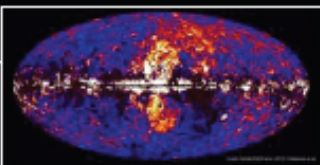
Starburst Galaxies



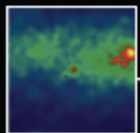
LMC & SMC



Globular Clusters

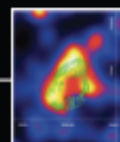


Fermi Bubbles

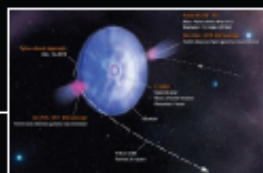


Nova

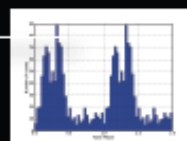
SNRs & PWN



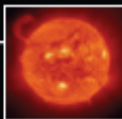
γ -ray Binaries



Pulsars: isolated, binaries, & MSPs



Sun: flares & CR interactions



Terrestrial γ -ray Flashes



Unidentified Sources
(577/1873)

Extragalactic

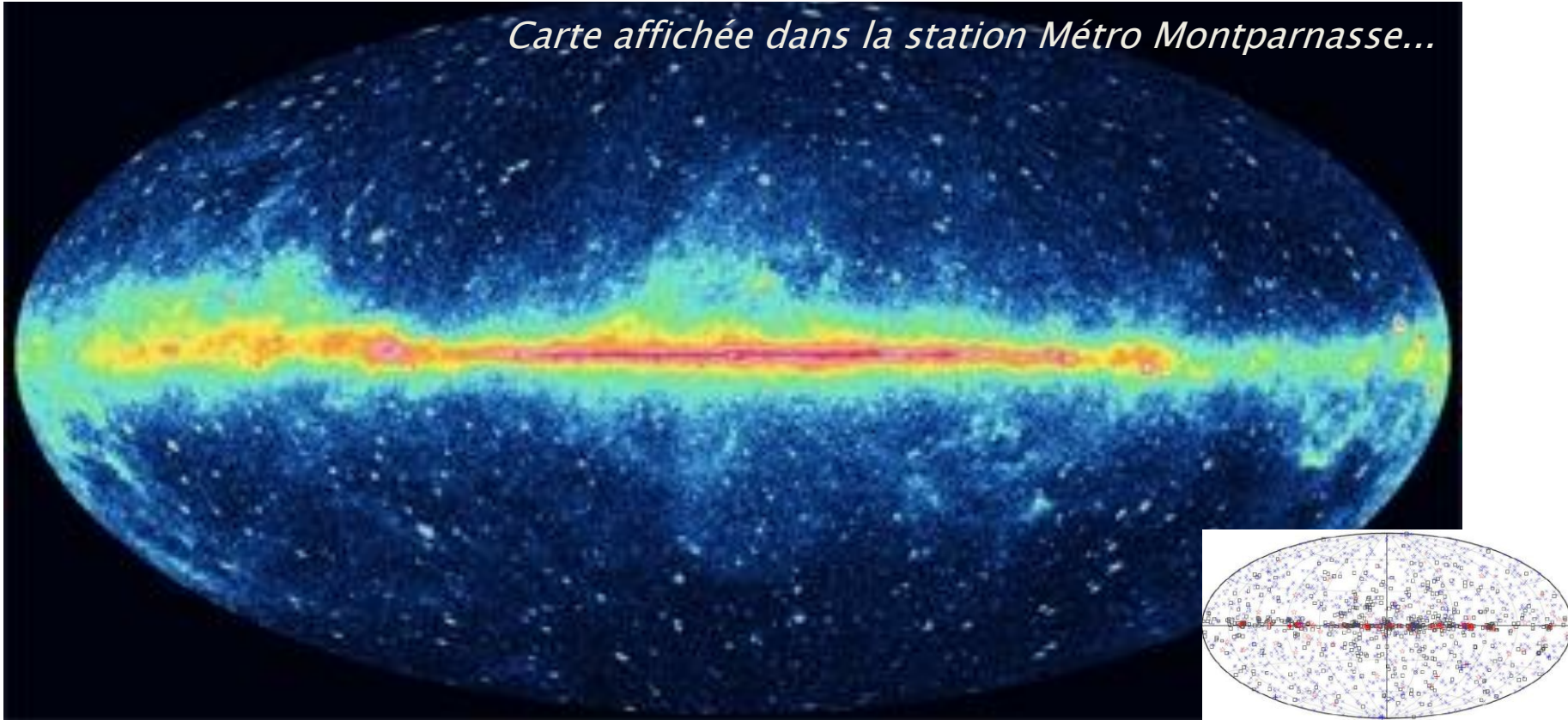
Galactic

Fermi : record mondial de citations en 2012 pour le catalogue 2FGL !

Lundi, 14 Janvier 2013

And the winner is... le deuxième catalogue Fermi-LAT de sources cosmiques de rayons gamma, baptisé 2FGL¹ ! Cette publication a suscité le plus grand nombre de citations parmi tous les articles astronomiques publiés dans le monde en 2012. Les catalogues successifs 0FGL, 1FGL et 2FGL, qui recensent à eux trois les sources gamma du ciel découvertes par le télescope spatial Fermi depuis 2008, ont ainsi été cités près de 1 000 fois². Une belle récompense pour les chercheurs français (CEA/CNRS) de la collaboration Fermi-LAT qui ont coordonné la création de ces catalogues.

Carte affichée dans la station Métro Montparnasse...



Carte de la voûte céleste en rayons gamma projetée en coordonnées galactiques. L'image, en fausses couleurs, comprend 4 ans d'observations dans la gamme de 1 à 100 GeV. L'intensité de l'émission gamma augmente du bleu nuit au rouge et blanc. Crédit : Collaboration Fermi-LAT

Calibration et analyse (LLR, Ph. Bruel)

- Tests sous faisceaux et calibration du calorimètre (CENBG, LUPM, LLR)
- Reconstruction et sélection des événements (gamma, mais aussi e^+/e^-).
- Production des “Instrument Response Functions” (IRFs), indispensables.
- Estimation des systématiques, par vérifications des performances en orbite.

Optimisation finale (« Pass 8 ») de la reconstruction, sélection des événements *en cours*. Dès 2014, données de meilleure qualité. *Nous aurons la primeur.*

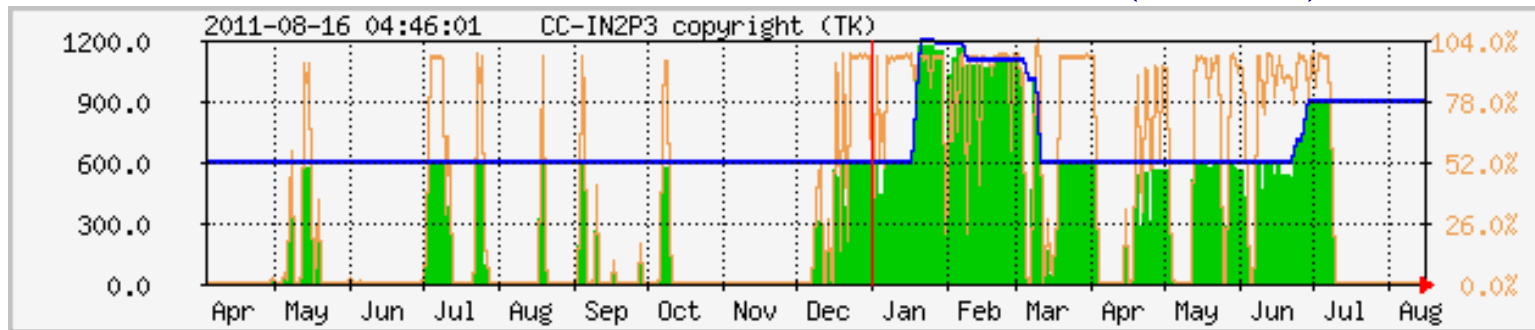
La surface effective augmentera de +300% à 100 MeV,
et de +25% à partir de 1 GeV.

Cas où cela sera crucial:

- | | |
|------------------------------|--|
| La précision angulaire | -> limite sur les halos des AGNs |
| L'échelle absolue en énergie | -> précision du rapport e^+/e^- |
| Des spectres jusqu'à 3 TeV | -> spectre électrons, diffus extragalactique |
| La surface effective | -> précision des coupures spectrales |

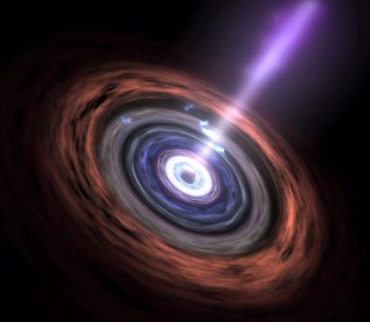
Les papiers “finaux” de *Fermi* en bénéficieront .

Simulations MC au CC-IN2P3 (LUPM)



(Nombre de coeurs utilisés au CC entre avril 2010 et juillet 2011)

- Extension du Pipeline de *Fermi*-LAT (application client/serveur à SLAC)
 - au CC-IN2P3 (Lyon) : depuis fin 2008 (C. Lavalley)
 - à la grille de calcul EGI : en cours, utilisant Dirac (L. Arrabito)
- LUPM : développement, exploitation et maintenance
 - soutien CNES (4 ans CDD ingénieur)
- Productions ponctuelles (e.g., IRFs) ou intensives (e.g., backgrounds)
- 1200 coeurs à tout moment : ~30% du CPU de la collaboration LAT
- 2000 coeurs quasiment (~70%) en continu demandés pour 2013 :
 - backgrounds pour développements Pass 8
- Analyse du survey pulsars Nançay: ~250 coeurs en continu.



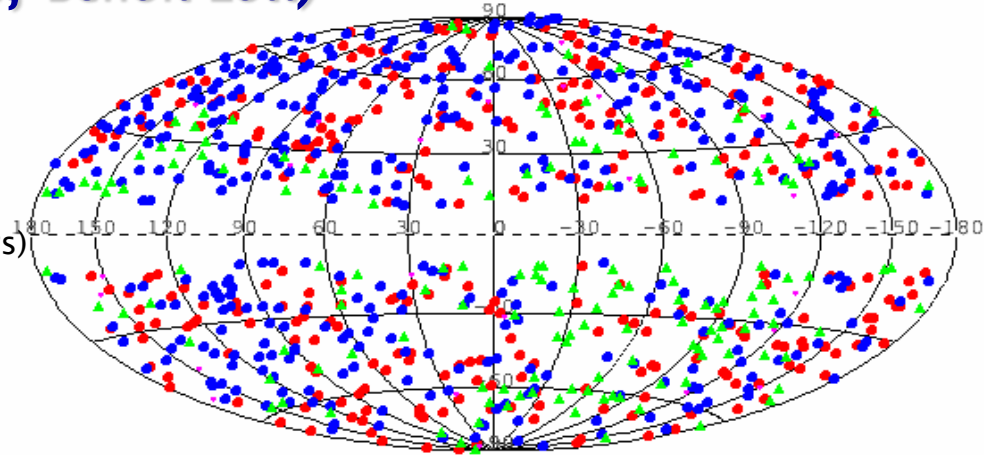
Blazars / AGNs

(CENBG, Benoit Lott)

Etudes des populations:

Rôle de leader sur les 3 catalogues d'AGNs
(3 mois, 11 mois, et 24 mois. « 2LAC » avec >1100 blazars)

Forte corrélation entre forme spectrale et classe de blazars.



Etudes spectrales et temporelles

Mise en évidence d'une coupure spectrale pour les blazars très lumineux (FSRQs):
signature d'une émission près du trou noir? *1 papier dans ApJ*

Etude détaillée du plus brillant blazar de Fermi, 3C 454.3

(éruptions record, 3 papiers dans ApJ + communiqué de presse de la NASA)

Coupure spectrale indépendante des variations de flux *3 papiers dans ApJ*

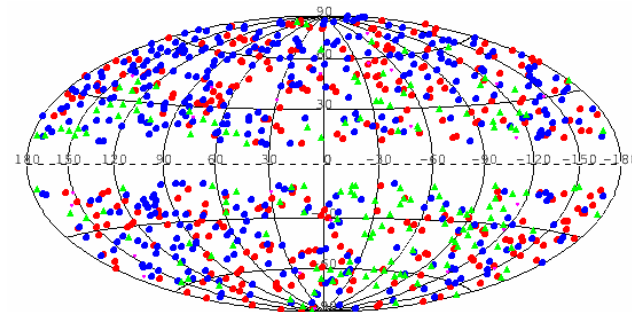
Nouvelle technique de génération de courbes de lumière (*adaptive-binning method*)

1 papier dans A&A

Plusieurs papiers sur la variabilité des blazars en préparation



Blazars / AGNs (LLR)



Passé : Etude de la population des émetteurs GeV-TeV.

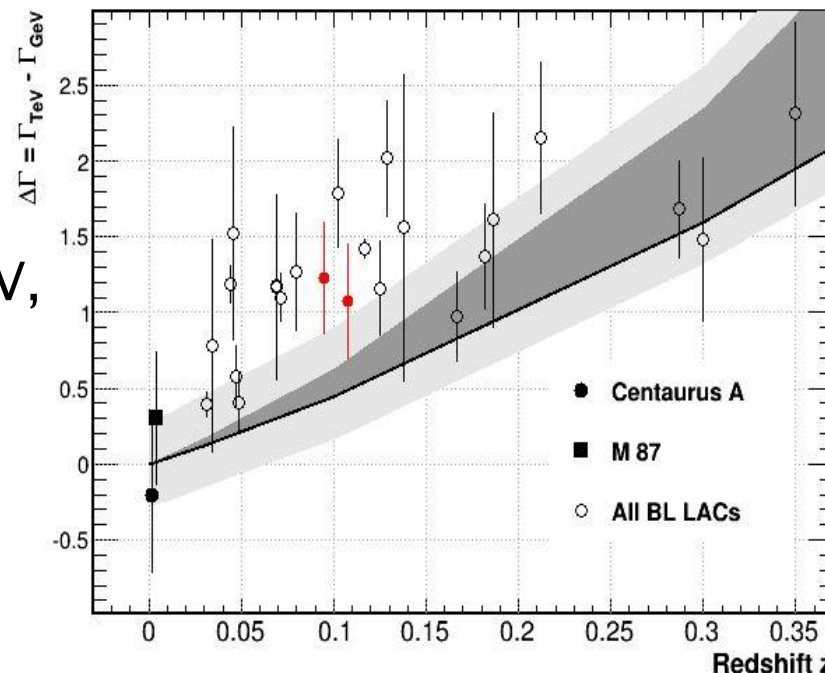
L'Univers gamma > 10 GeV (catalogue 1FHL – Fortin, Horan).

(FHL = « hard sources list »)

Campagnes multi-lambda sur plusieurs sources.

Présent/futur:

Continuation du travail FHL :
Etudes de nouvelles sources GeV–TeV,
évolution des sources,
propositions de cibles pour le TeV.



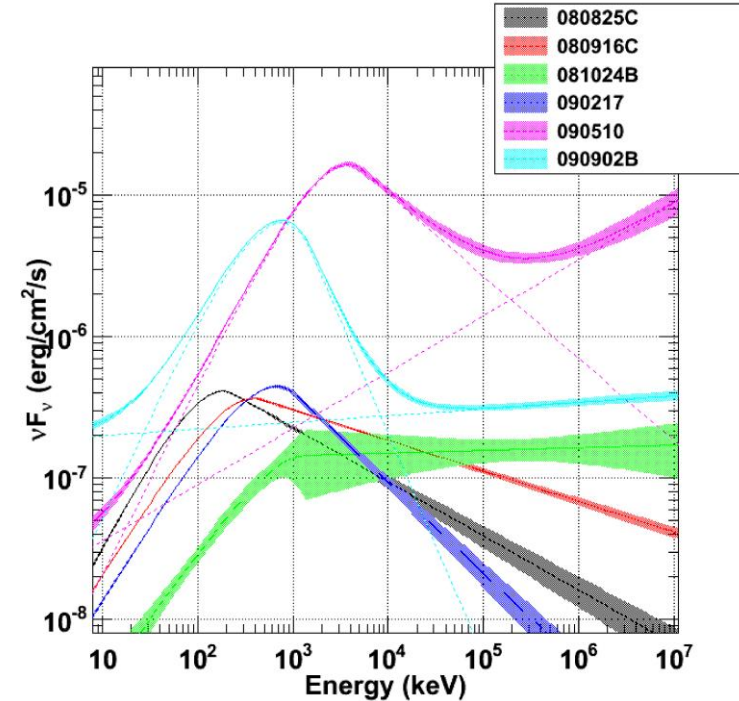


Sursauts gamma (LUPM)

Passé / présent :

- Extension des spectres < 100 MeV
- Contribution à tous les articles majeurs
- 1^{er} Catalogue GRB LAT : 3 ans, 35 GRBs
- Violation de l'invariance de Lorentz :

meilleures limites: $E_{QG} > 7.6 E_{\text{Planck}}$ (95% C.L., "linear")



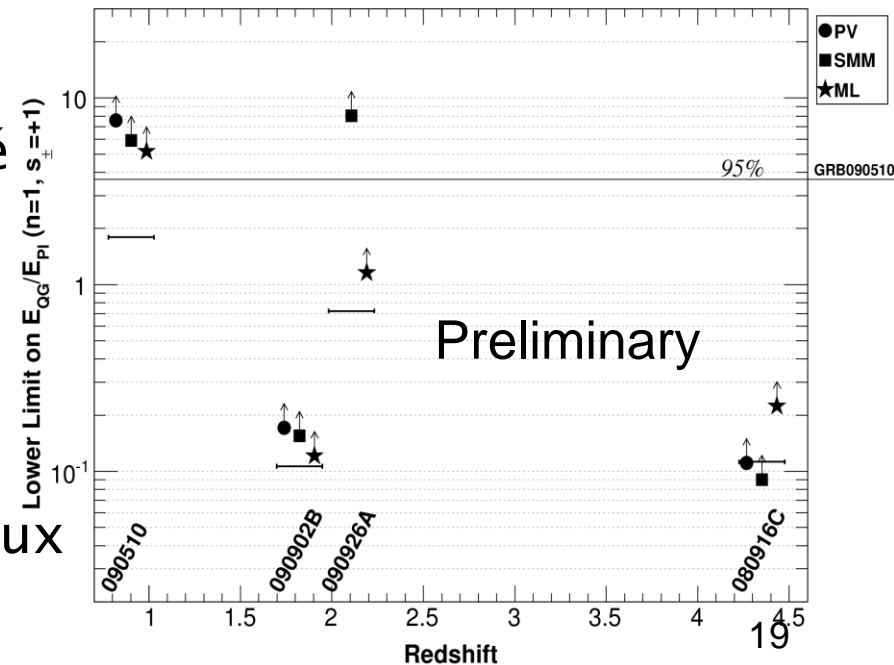
Futur : plus de détections GBM+LAT

-Etudes de populations, schéma unifié

- Modélisation des mécanismes d'émission et d'accélération (RCUHE?)

- GRBs brillants avec redshift et suivi MWL (+ CTA, GW ?) : rares mais précieux

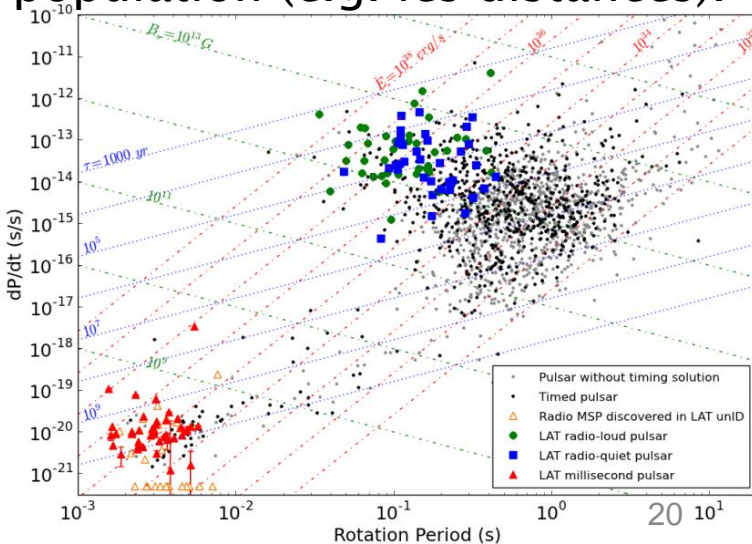
- "Stacking" pour limites "Lorentz"



Pulsars (CENBG)

- Découverte de la population de pulsars milliseconde (MSP) gamma.
- Etudes 'géométriques' de pulsars jeunes (polarisation radio \otimes profils gamma).
- Préparation du 1^{er}, 2^{ième} Catalogues. Plusieurs articles sur pulsars particuliers.
- Actuellement 137 pulsars γ , très variés. Avant *Fermi*: ≤ 10 PSR γ connus.
- Exclusion de pulsars dans e.g. les SNRs gamma.
- Accroissement de 70% des MSPs radio connus (hors amas), découverts parmi les sources LAT non-identifiées (par exemple, à Nançay), même loin du plan.
 - Utiles pour e.g. recherches d'ondes gravitationnelles,
 - Contributions de la population aux fonds diffus.

à venir: Améliorations en nombre et en diversité. Continuer à caractériser la population (e.g. les distances).



Accélérateurs cosmiques dans la Voie Lactée (PWN/SNR @ CENBG)

Passé/présent: Etudes individuelles (morphologie + spectre) de nébuleuses de pulsars (PWN). *Exemples*: Nébuleuse du Crabe et Vela-X.

Six des sept détections Fermi publiées au CENBG.

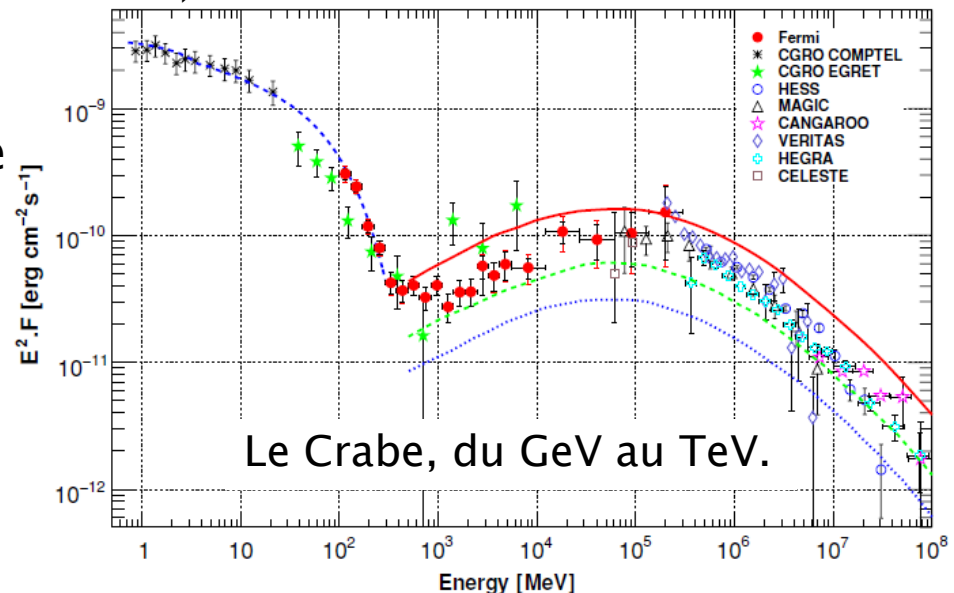
Leader du catalogue de PWN: « off-pulse » des pulsars *Fermi*.

Leader de l'analyse de PWNe et de sources TeV non identifiées émettrices au GeV: 56 sources étudiées (en fin de rédaction)

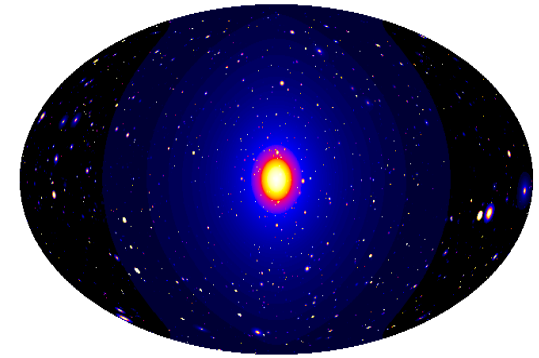
Etude de vestiges de supernovae (SNR) en tant qu'accélérateurs de protons: eg. Puppis A, RCW 86 (en collaboration avec le LUPM)

Futur:

- Etude combinée HESS2-Fermi afin de contraindre les processus d'émission.
- Analyse morphologique de sources non identifiées.
- Etude de population.



Matière sombre (LUPM)



Passé / présent :

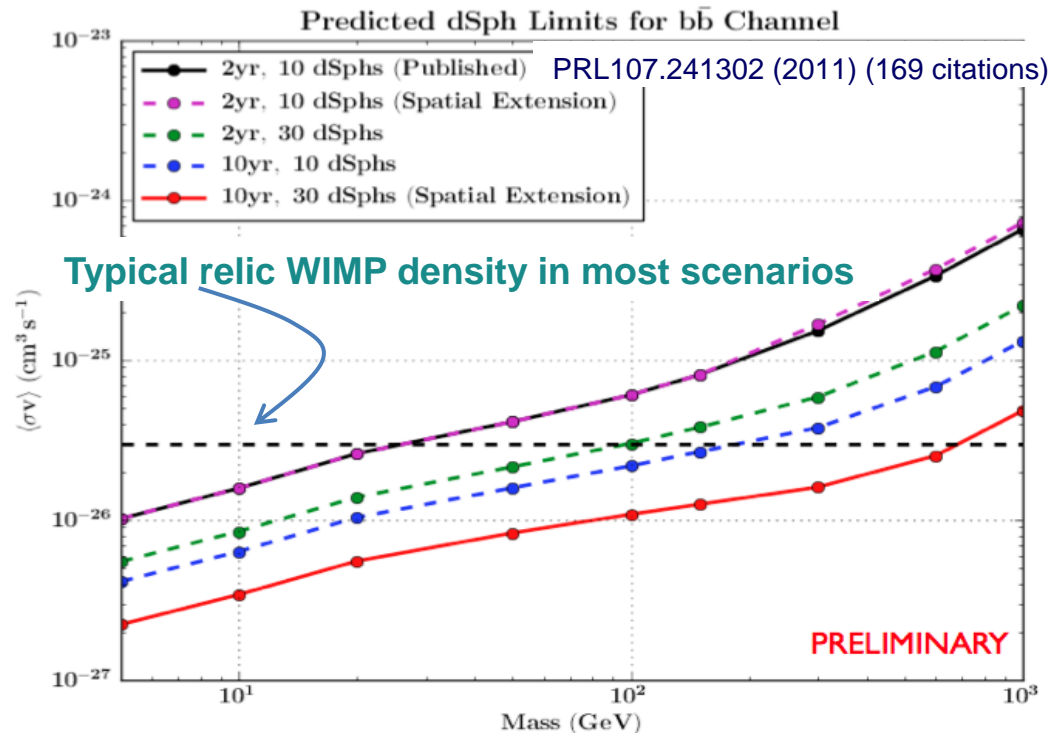
- Développement des outils d'analyse spécifiques DM
- Leader dans plusieurs analyses :
 - Galaxies naines sphéroïdes (= "dSph")
Les meilleures limites par vraisemblance combinée!
 - Centre Galactique :
Caractérisation des sources et des fonds astrophysiques
 - Premières contraintes sur les modèles à dimensions supplémentaires

Futur :

- Centre Galactique (sujet brûlant et difficile)
- Développements, optimisation des outils d'analyse des données LAT à basse énergie (*thèse CNES/CNRS*)

Avant la fin de la mission :

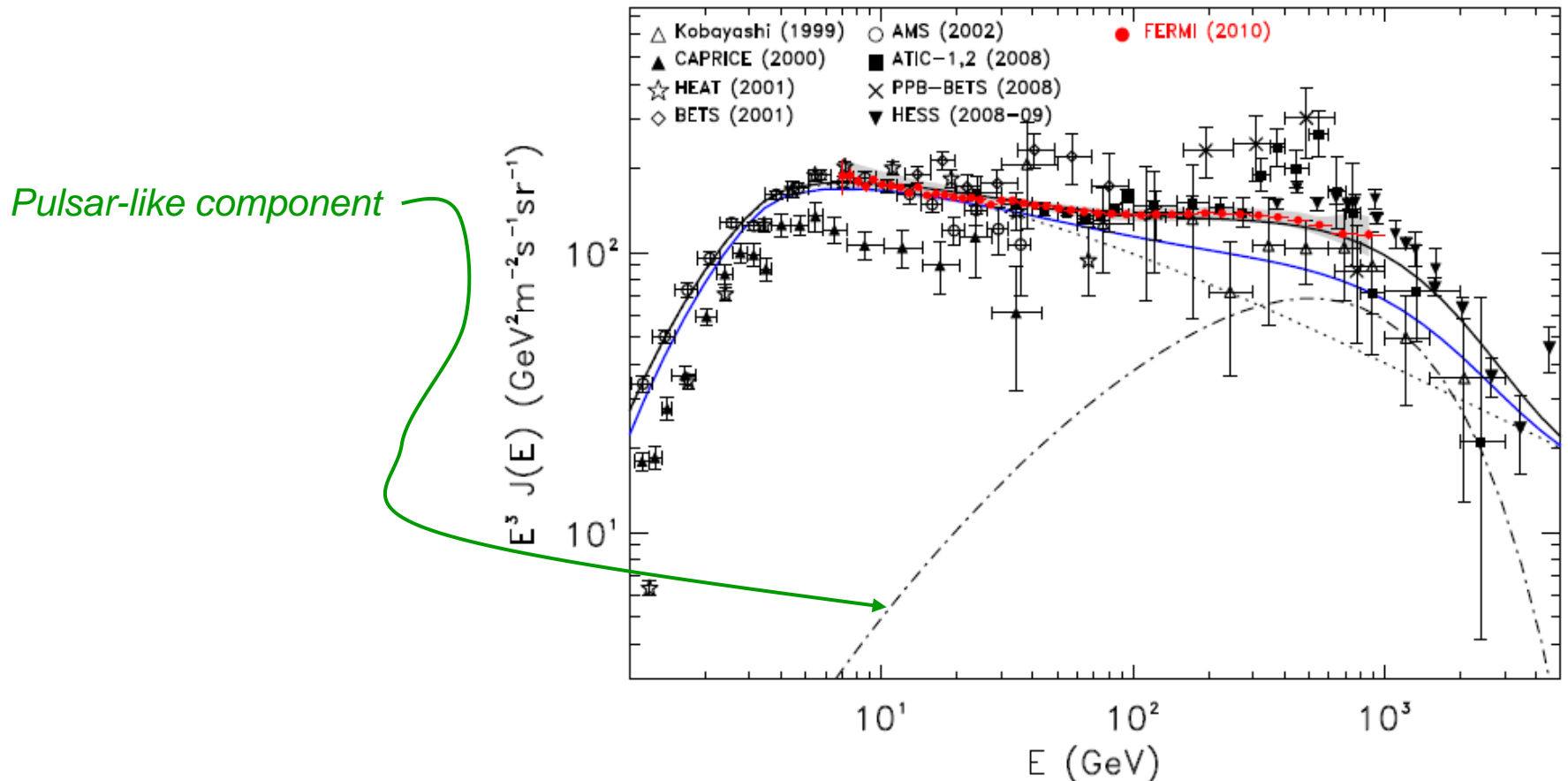
L'observation de nouvelles naines sphéroïdes et l'augmentation du temps d'observation devrait nous permettre de contraindre la section efficace compatible avec les contraintes de densité relique pour des masses allant jusqu'au TeV



Fermi LAT observations of cosmic-ray electrons from 7 GeV to 1 TeV

Un tour de force, inattendu avant le lancement.

- Suite directe des efforts C&A et Testbeam (avec les collègues 'silicium@Infn-Pise')
- Les vents des pulsars peuvent expliquer l'excès par rapport à la diffusion des rayons cosmiques sur le gaz interstellaire.
- à comparer avec les attentes de la matière noire.



Among *Fermi's* most cited papers

Abdo et al. 2009, Phys. Rev. Lett., 102, 181101
Ackermann et al. 2010, Phys. Rev. D, 82, 092004

Nos catalogues

(listes d'objets et discussion des propriétés générales)

Bright AGN Source List from the First Three Months of the Fermi Large Area Telescope All-Sky Survey, Abdo et al. (2009) ApJ 700, 597 (contact authors: B. Lott +1) [279 cit.](#)

The First Catalog Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope, Abdo et al. (2010) ApJ 715, 429 (contact authors: B. Lott+4) [221 cit.](#)

The Second Catalog Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope, Ackermann et al. (2011) ApJ 743, 171 (contact authors: B. Lott+4) [111 cit.](#)

Fermi Observations of TeV-Selected Active Galactic Nuclei, ApJ, 707, 1310 (2009) (contact authors: S. Fegan, D. Sanchez) [69 cit.](#)

The First Fermi Large Area Telescope Catalog of Gamma-ray Pulsars, Abdo et al. 2010, ApJS, 187, 460 (contact authors: D. Parent+3) [282 cit.](#)

Fermi-LAT Search for Pulsar Wind Nebulae around gamma-ray Pulsars, Ackermann et al. 2011, ApJ, 726, 35 (contact authors: M.-H. Grondin, M. Lemoine-Goumard+3) [25 cit.](#)

The First Fermi-LAT Gamma-Ray Burst Catalog (contact authors: F. Piron, V. Vasileiou+3) en revue interne.

The Second Fermi Large Area Telescope Catalog of Gamma-ray Pulsars (contact authors: D. Smith+3) en revue interne.

The First Fermi-LAT Catalog of Hard Sources (contact authors: P. Fortin+3) en revue interne.

220 publications de la collaboration *Fermi* LAT acceptées
(11400 citations)

Bibliométrie IN2P3:

43 publications acceptées avec 'auteurs de contact' In2p3
(2450 citations),
sur les pulsars, restes de supernova, AGNs, matière sombre, GRBs

2008: 1, 2009: 9, 2010: 17, 2011: 9, 2012: 7, 2013: 1 soumis

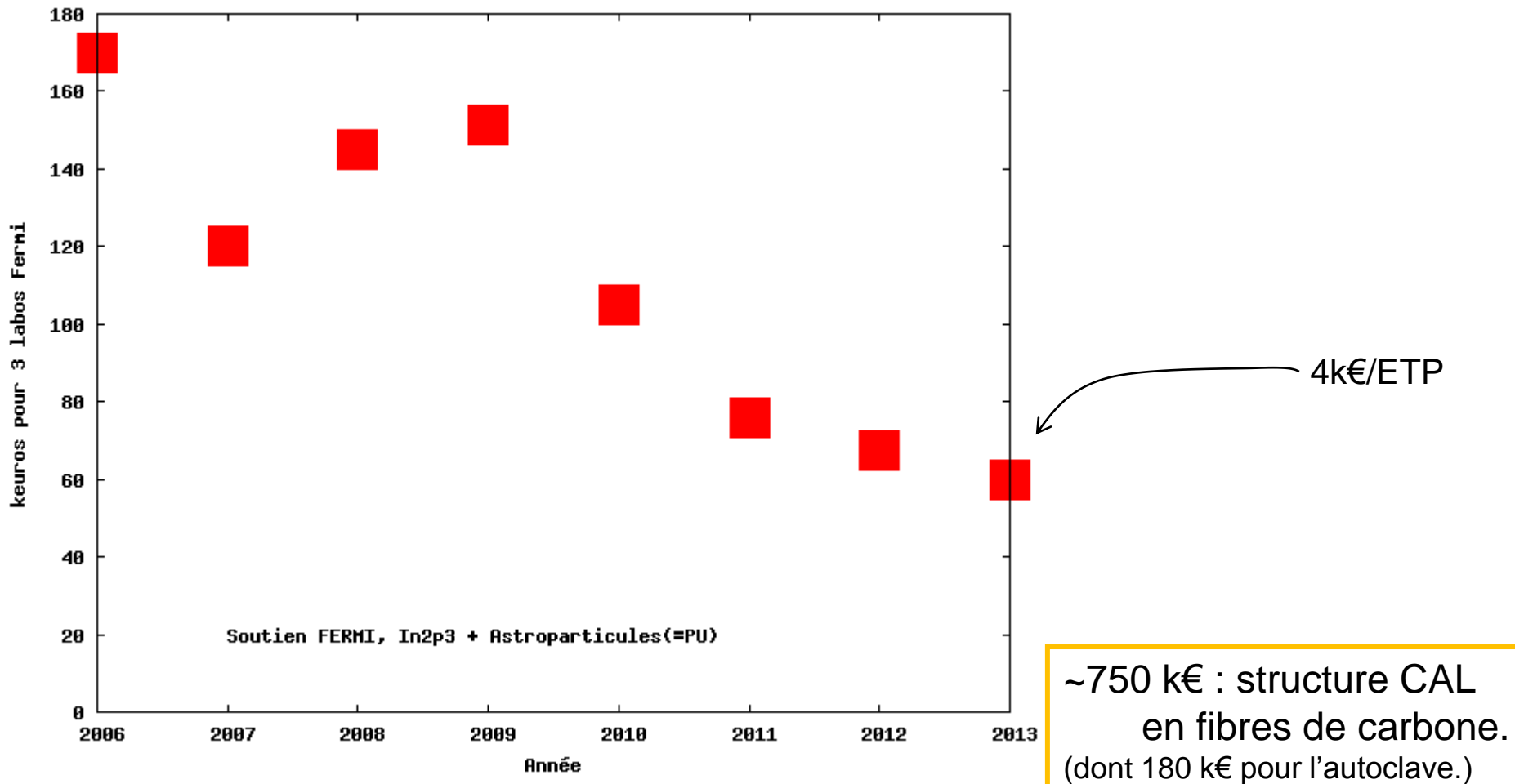
~20 autres papiers avec contributions importantes, et 10 thèses.

43/220 = 20%

Prix *Rossi* 2011 aux collaborations *Fermi*

Prix *Rossi* 2013 à 2 théoriciens pulsars *Fermi*

Coûts



Avant 2006 – Coûts de la structure mécanique au LLR, et missions.

Spike 2006 – Table « XY » pour tests au CERN.

Spike 2009 – Premiers analyses, résultats.

Non-inclus: 3 ans au SLAC pour Smith, Lott.

Futur: suite et fin de la mission

NASA Senior Review (printemps 2012)

http://science.nasa.gov/media/medialibrary/2012/04/03/Report_of_the_2012_Senior_Review_of_Astrophysics_Division_Operating_Missions.pdf

- « The *Fermi* science results have been outstanding, and often surprising. »
- « The first three years of Fermi have been very productive, and ***the committee believes we have yet to see the peak of Fermi's science output.*** »
- « *Fermi* will continue its main mission, adding deeper exposures and the detection of rare events. »
- « *Fermi* operations are extended through FY16, with a 10 percent per year reduction starting in FY14. »

Futur: suite et fin de *Fermi* à l'In2p3

Après un investissement important nous souhaitons contribuer aux **papiers majeurs finaux produits au sein de la collaboration** dans nos différentes thématiques, destinés à rester des **références** pour longtemps (pas de successeur prévu).

Nous sollicitons la possibilité de travailler sur Fermi à **~30–50%** pendant **quelques années** après la fin de la prise de données.

FIN
pour aujourd'hui

Summary of Fermi LAT science publications

22 January 2013

Category I and II papers in refereed journals

Journal	Published	In press	Total
	0+1=1	-	1
Astronomical Journal	1+0=1	-	1
Astronomy and Astrophysics	6+15=21	-	21
Astroparticle Physics	2+3=5	-	5
Astrophysical Journal	70+37=107	0+1=1	108
Astrophysical Journal Letters	20+11=31	-	31
Astrophysical Journal Supplement	5+1=6	-	6
Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	3+3=6	-	6
Monthly Notices of the RAS	0+13=13	-	13
Nature	2+1=3	-	3
Physical Review D	6+0=6	-	6
Physical Review Letters	6+0=6	-	6
Science	14+0=14	-	14
Total	135+85=220	0+1=1	221

30 papiers (15%):
auteurs principaux
du CENBG.

*(200 personnes dans la
collaboration.)*

Hors collaboration:
800 papiers.

Papers submitted to journals: 14
Near submission: 3
Published category III papers: 100

List of papers

10,000 citations

Rapid publications:

Astronomers' telegrams: 228

GCN circulars: 47

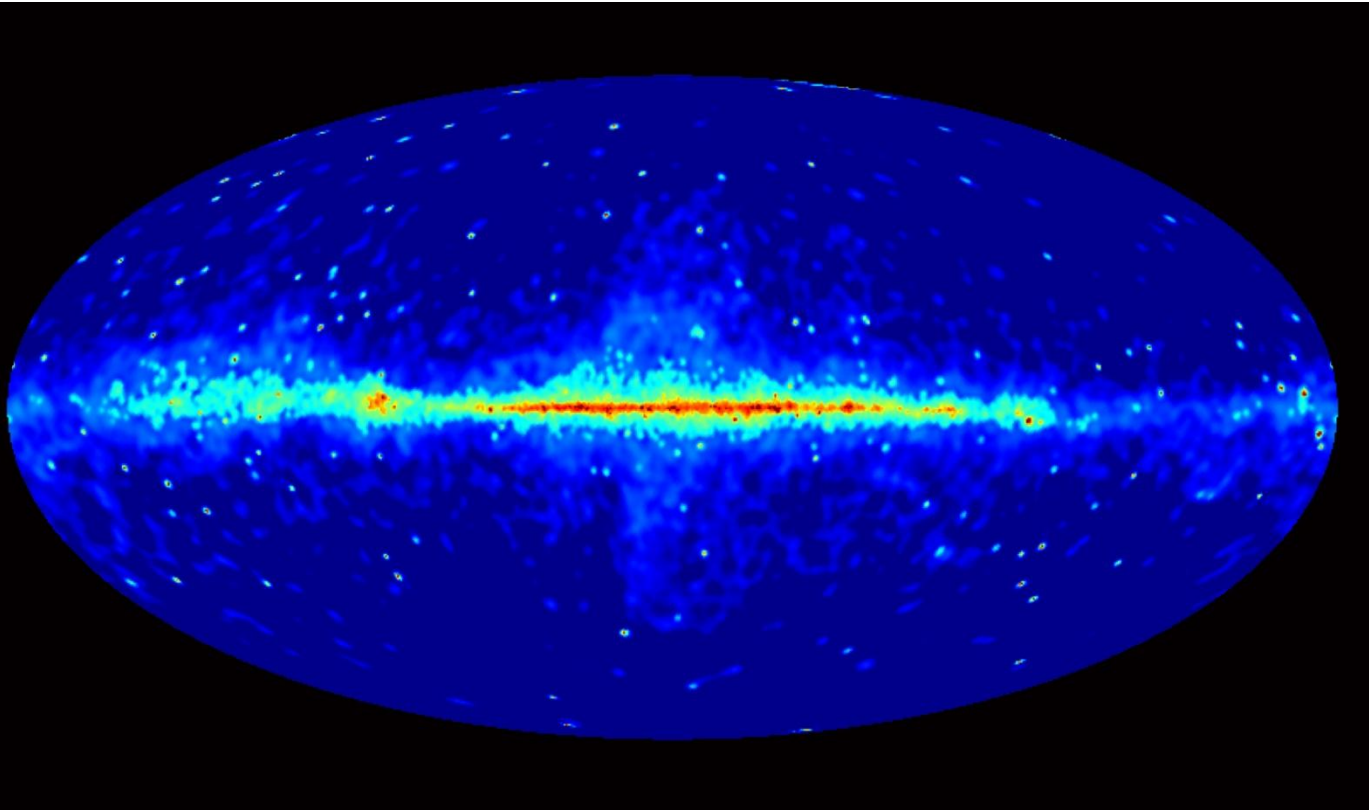
NASA's Fermi Space Telescope Explores New Energy Extremes

http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/energy-extremes.html (10 janvier 2012)

Extraits:

La liste Fermi de sources “dures” est générée par une équipe internationale pilotée par Pascal Fortin, postdoc au LLR et David Paneque (MPI-Munich).

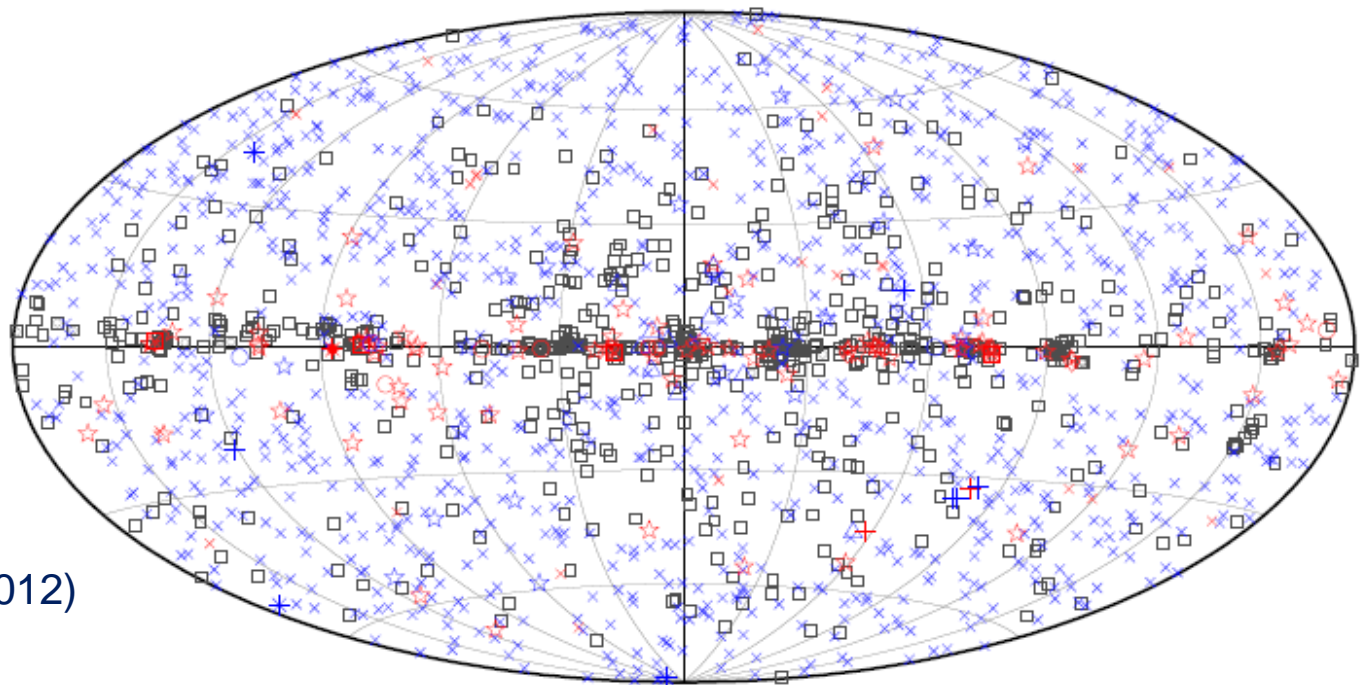
“L'exposition croissante de Fermi améliore continuellement notre vision des sources à spectres “durs”, en même temps que les instruments au sol étendent leur gamme de sensibilité vers celle de Fermi. Nous bâtissons un pont entre les deux domaines ” (Pascal Fortin, LLR).



Ciel en rayons gamma au-delà de 10 GeV, après 3 ans sur orbite. Cinq cents sources y apparaissent.

2FGL

2nd Fermi LAT source catalog



Nolan et al. ApJ Suppl (2012)
126 citations, 377 pour 1FGL.

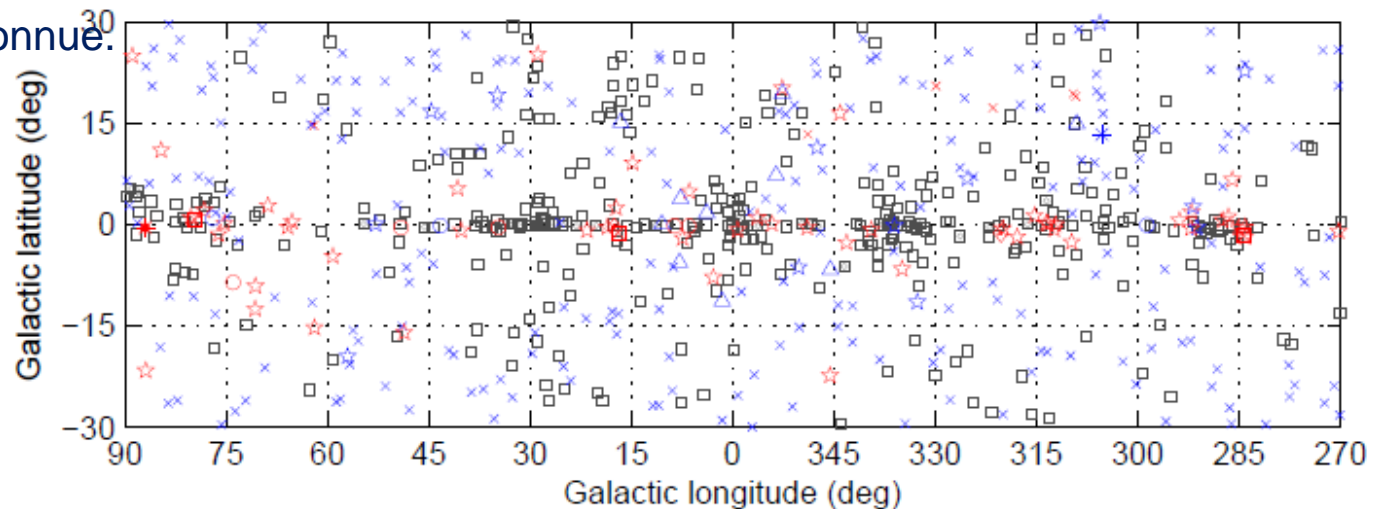
Total: 1873 sources.

Rouge: identifiée (127).

Bleu: associée (1171).

Noir: sans contrepartie connue.
(30%)

□ No association	□ Possible association with SNR or PWN	△ Globular cluster
× AGN	☆ Pulsar	◻ HMB
* Starburst Gal	◇ PWN	★ Nova
+ Galaxy	○ SNR	





Sursauts gamma (LUPM)

35 GRBs en 3 ans, dont 9 avec redshift, dont une poignée brillants
-- et seulement 3 avec données Swift simultanées.

Passé/présent :

- plateforme logicielle d'analyse ; Background Estimator ; extension de l'analyse < 100 MeV et nouveau jeu de données bientôt publics (LLE)

- fortes contributions aux articles majeurs du groupe de travail (GBM & LAT).

Exemple: le court et brillant GRB 090510 (nouvelle composante HE ; afterglow HE ; meilleure contrainte sur Lorentz Invariance Violation (LIV) – Nature)

- First LAT GRB Catalog ; contraintes LIV améliorées ; étude fine de la variabilité au GeV ; analyses spectrales finement résolues en temps (incluant LLE) ; modélisation détaillée des GRBs brillants (collab. IAP)

Futur: Nb de détections croît comme T_{obs} ($\sim 12/\text{an}$), l'augmenter pour :

- continuer les études de populations et construire un schéma unifié

- attraper de nouveaux GRBs brillants avec redshift et suivi MWL : rares mais précieux (découvertes, modélisations affinées)

- comprendre les propriétés du jet relativiste (Γ , énergétique, magnétisation) et identifier les mécanismes d'accélération/émission (RCUHE ?)

HUNTING GRAVITATIONAL WAVES USING PULSARS

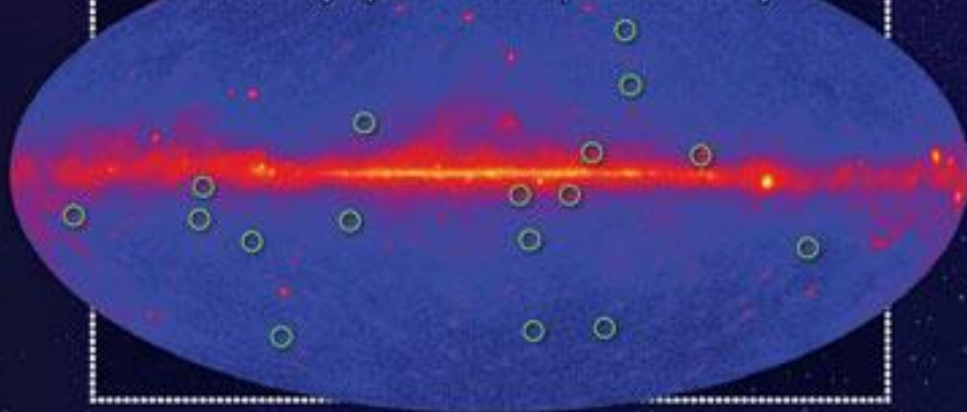
1 Gravitational waves from supermassive black-hole mergers in distant galaxies subtly shift the position of Earth.

2 Telescopes on Earth measure tiny differences in the arrival times of the radio bursts caused by the jostling.

3 Measuring the effect on an array of pulsars enhances the chance of detecting the gravitational waves.

NEW MILLISECOND PULSARS

An all-sky map as seen by the Fermi Gamma-ray Space Telescope in its first year



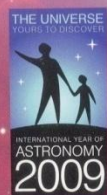
Nature 463, 147, 14 January 2010

The new MSPs have different selection biases. Well-distributed on the sky.

BLACK HOLE Monster Mash *When Black Holes Collide, Space-Time Rocks* p. 26

THE ESSENTIAL MAGAZINE OF ASTRONOMY

SKY
& TELESCOPE



100 Hours of Astronomy:
Global Star Party Marathon p. 72

DARK MATTER

SEEN AT LAST?

One of astronomy's deepest mysteries may soon be solved. p. 22

S&T Test Report:
FLI's High-Res Deep-Sky Camera p. 34

S&T Reveals:
Orion's Cloak p. 66

Exotic Galaxies in the Big Bear p. 61

SkyandTelescope.com

APRIL 2009 \$5.99
\$6.99 CAN. £3.25 U.K.
0 74808 02207 6

The positron excesses discovered in 2009 can be explained in large part by pulsar winds.