



Détection des γ dans
l'expérience AMS



Analyse temporelle des sursauts
gamma par la mission HETE-2

Julien Bolmont

Soutenance de thèse

14 octobre 2005



Thèse commencée en octobre 2002 au sein du Groupe
d'Astroparticules de Montpellier et terminée au
Laboratoire de Physique Théorique et Astroparticules



Sous la direction de

A. Falvard & A. Jacholkowska

Bourse BDI cofinancée par la Région Languedoc-
Roussillon et le CNRS



Sommaire

- Thèse partagée en deux grandes parties
- Point commun : l'astronomie gamma
- AMS-02, détecteur de photons
 - Calibration du calorimètre ECAL (étude du MIP)
 - Prédiction à l'aide d'une simulation rapide
- Étude des sursauts gamma observés par HETE-2
 - Recherche d'un effet de gravitation quantique

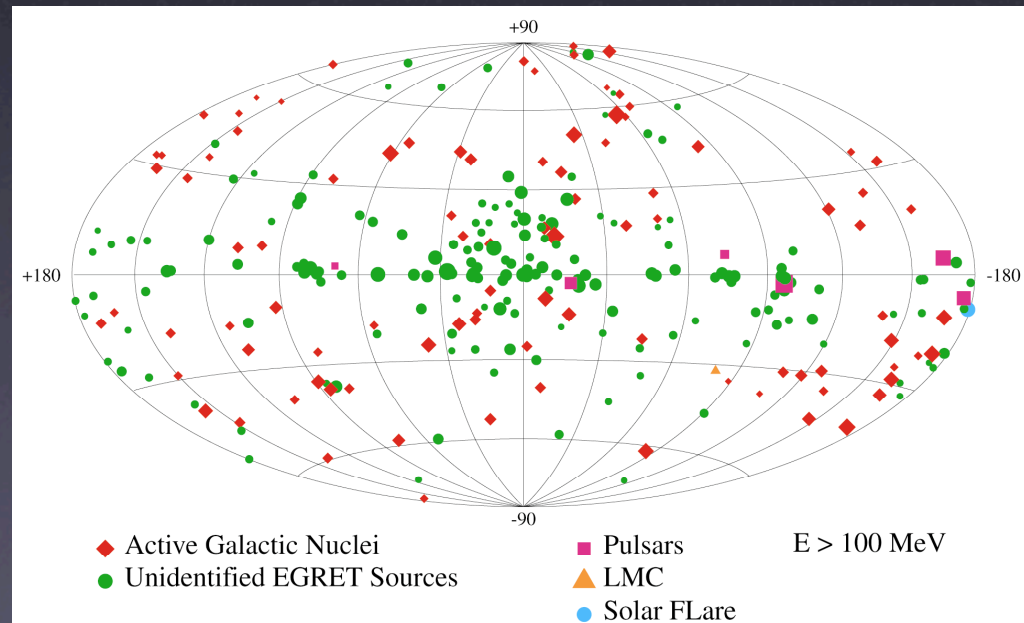
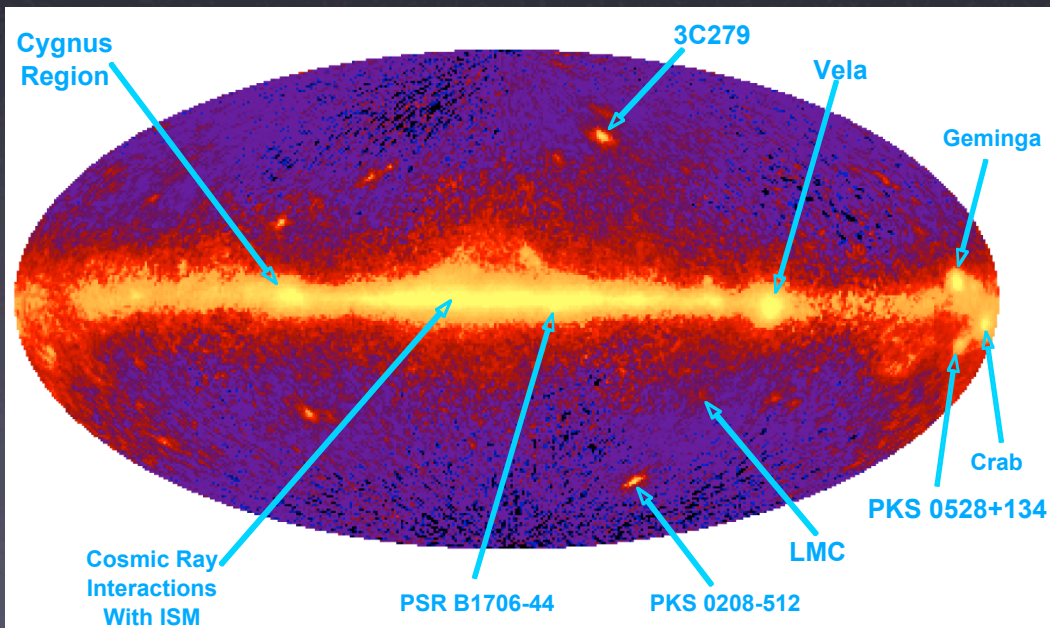
Pourquoi deux parties ?

- En 2002, le lancement d'AMS-02 était prévu pour 2005
 - Dans ce cas, accès aux données possible
 - Mais, retard dû à l'accident de la navette Columbia (2003)
 - Lancement d'AMS-02 maintenant prévu début 2008
 - En 2004, opportunité d'accéder aux données d'HETE-2
- Merci à la collaboration HETE-2 !

Le cadre

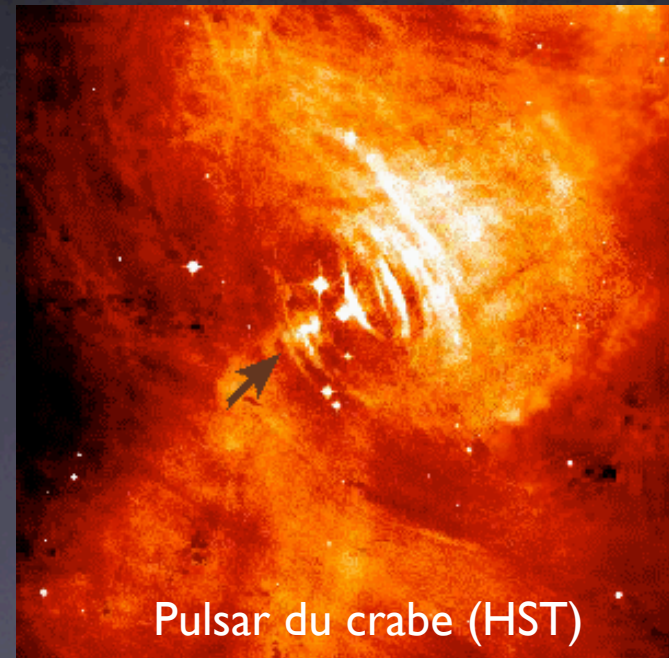
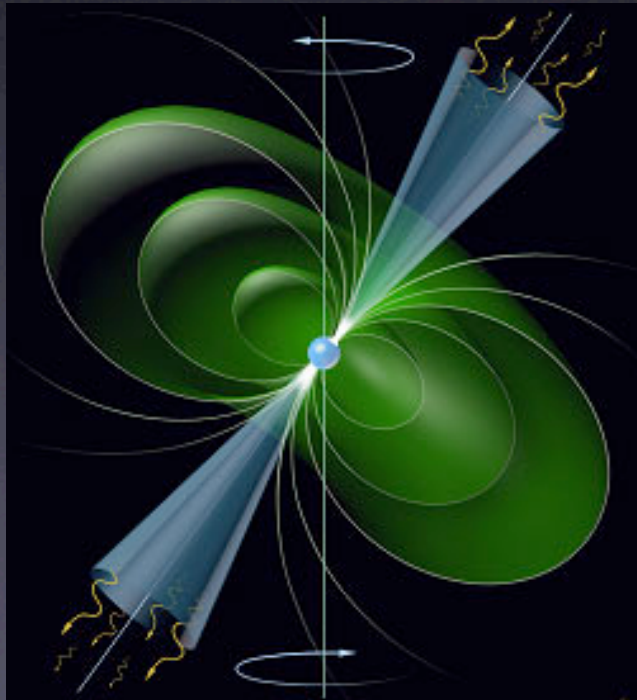
Le ciel γ vu par EGRET

- Energies à partir de quelques dizaines de MeV
- Sources ponctuelles galactiques (pulsars, SNR) ou extragalactiques (AGN, GRB)
- Sources diffuses : fond galactique, fond extra-galactique
- Source hypothétique : matière noire froide



Pulsars

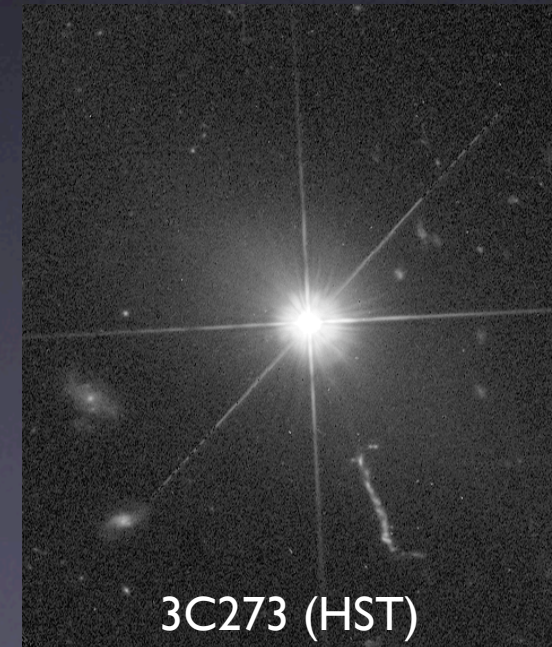
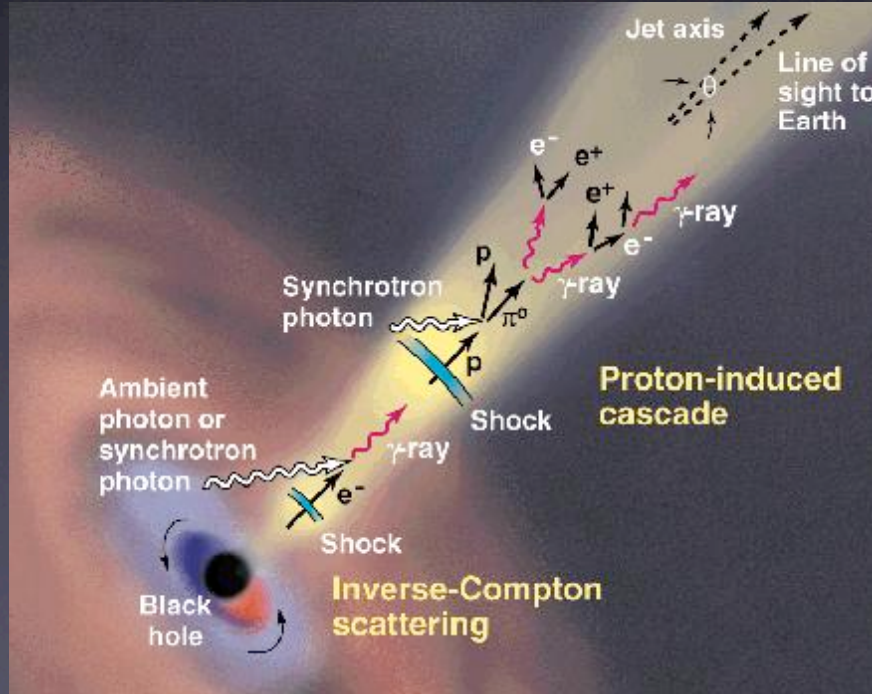
- Pulsar : étoile à neutrons dont le rayonnement nous parvient de manière périodique.
- Emission en radio, visible, X, gamma
- Deux modèles théoriques : calotte polaire, cavité externe
- Exemple : Crabe, Vela, Geminga



Pulsar du crabe (HST)

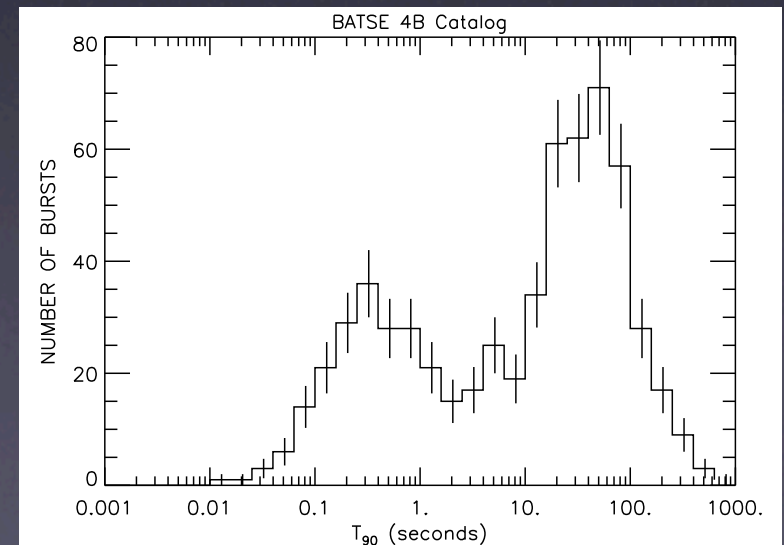
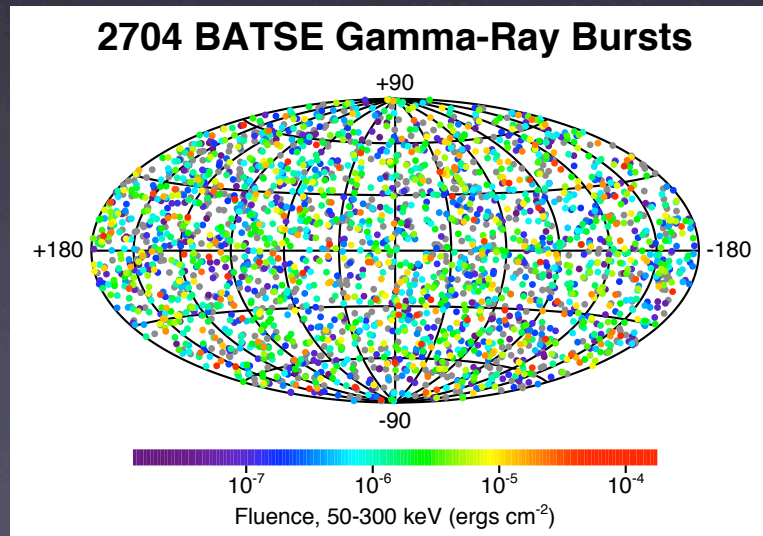
Blazars

- **Blazar** : noyau actif de galaxie (AGN) avec émission radio forte et jet dirigé vers la Terre
- Grande variabilité
- Détecté du domaine radio aux gamma.



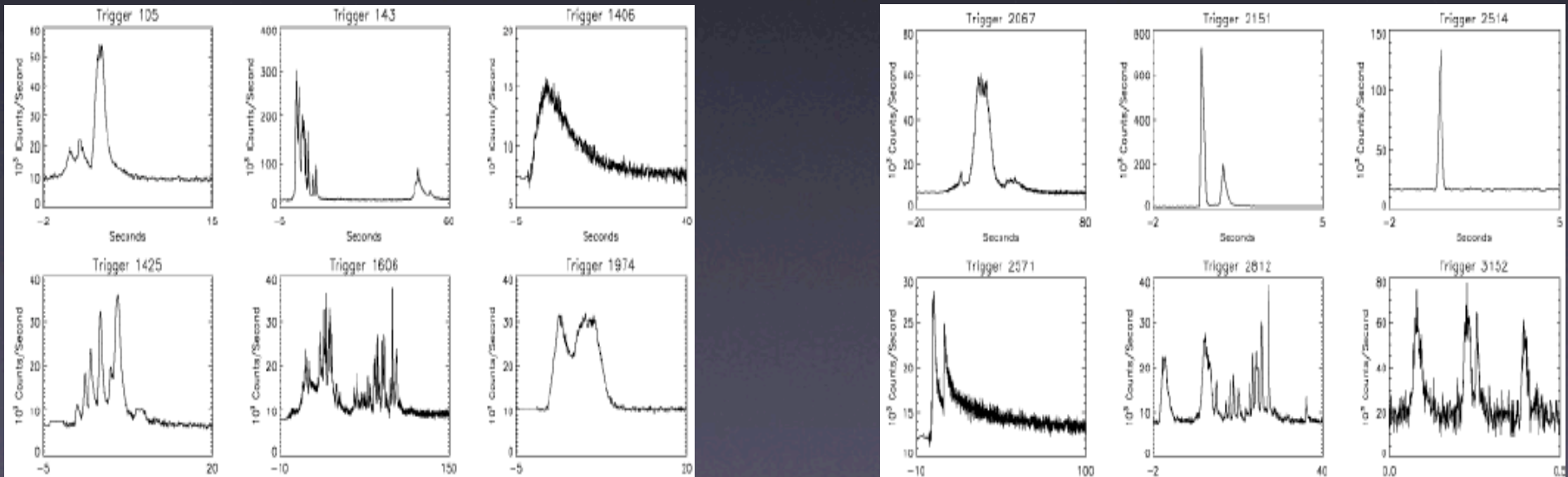
Sursauts gamma (GRB)

- Sources très énergétiques et cosmologiques ($0.0085 < z < 6.29$)
- Emission prompt γ , puis retardée (*afterglow*) X, optique et radio
- Répartis sur toute la voûte céleste
- Deux populations selon la durée



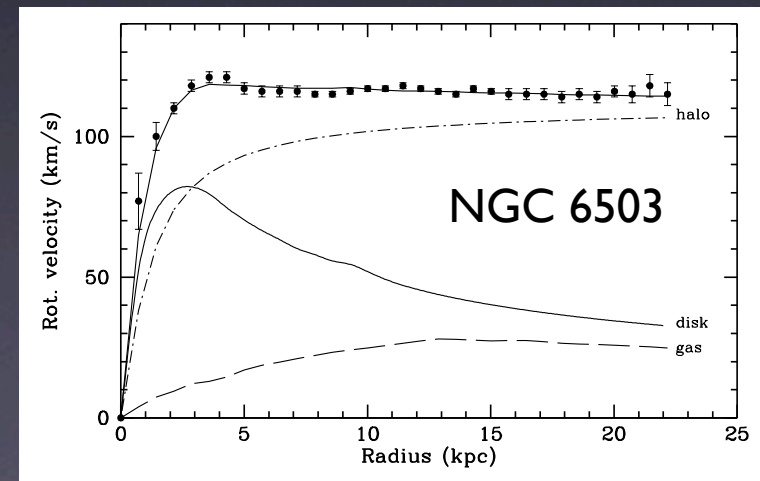
Sursauts gamma (GRB)

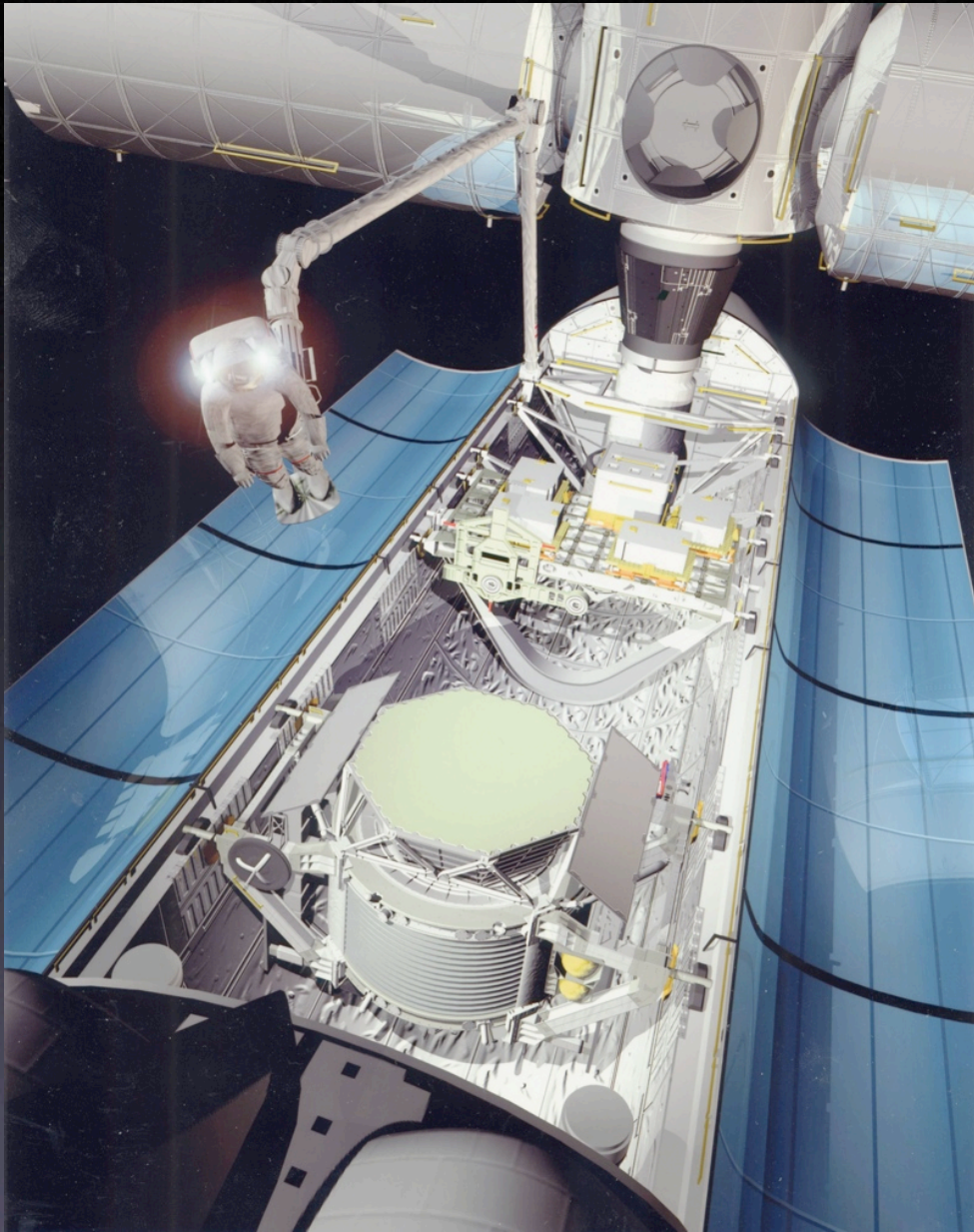
- Courbes de lumières très variées
- Variabilité importante → pics d'émission



Matière noire

- 90% de la matière de l'Univers est sombre
- Indices observationnels : courbes de rotation des galaxies + grandes structures
→ présence de halos de matière noire ?
- Hypothèse : le halo contiendrait des particules massives interagissant peu (WIMPs)
- La Supersymétrie fournit un bon candidat : le neutralino (χ)
- Les neutralinos s'annihilent et donnent des photons :
$$\chi + \chi \rightarrow \gamma + \dots$$



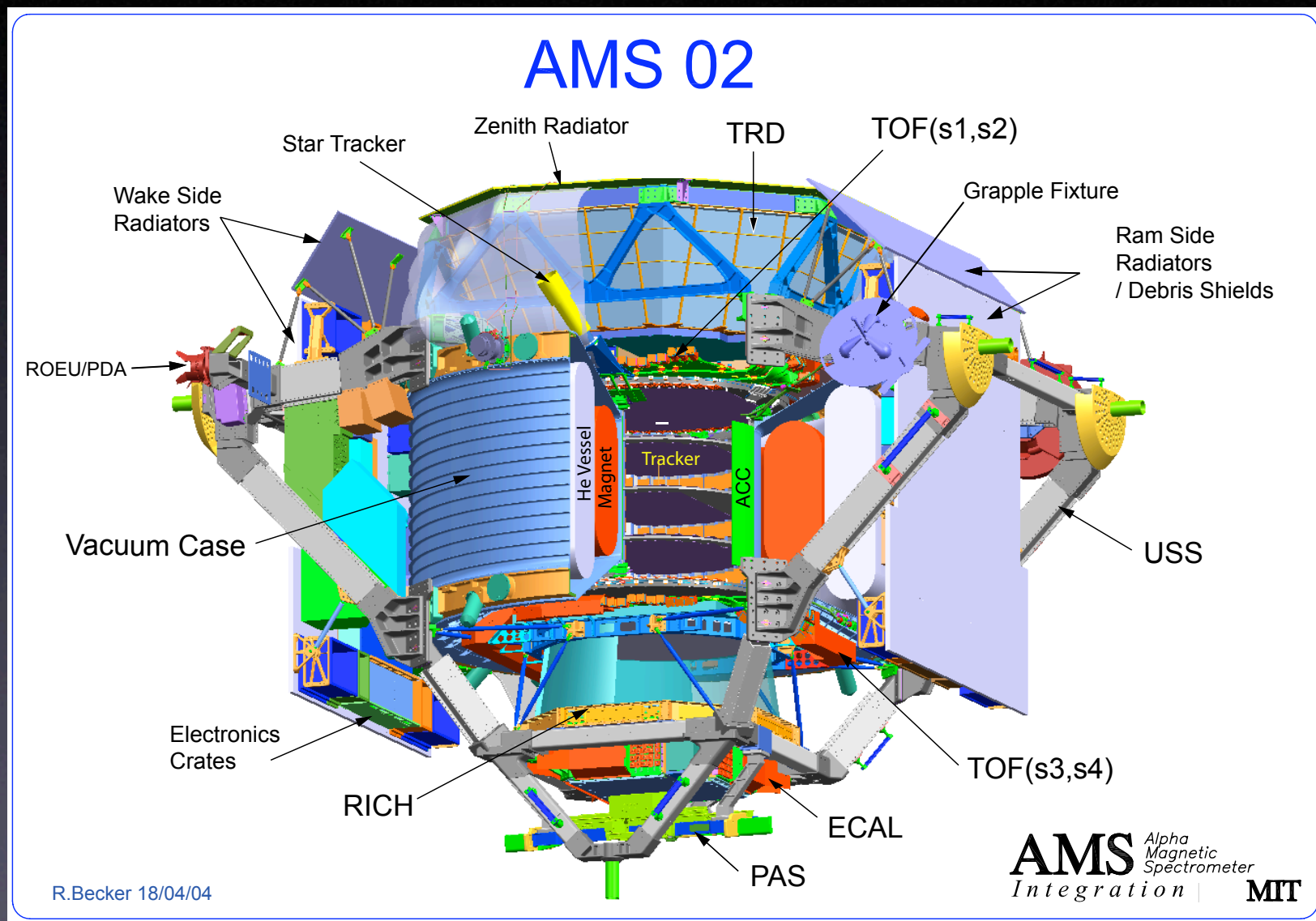


Détection des γ dans l'expérience AMS

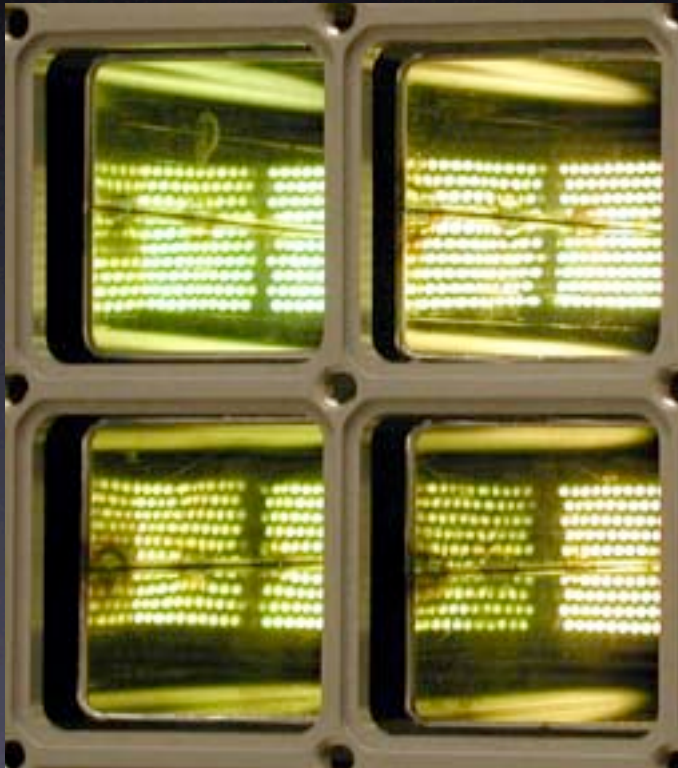
- Description d'AMS-02 ainsi que de STD et ECAL
- Calibration du calorimètre électromagnétique :
test faisceau
- Simulation rapide : prédictions pour les sources et la
matière noire

AMS-02, le STD & ECAL

AMS-02: un détecteur qualifié spatial



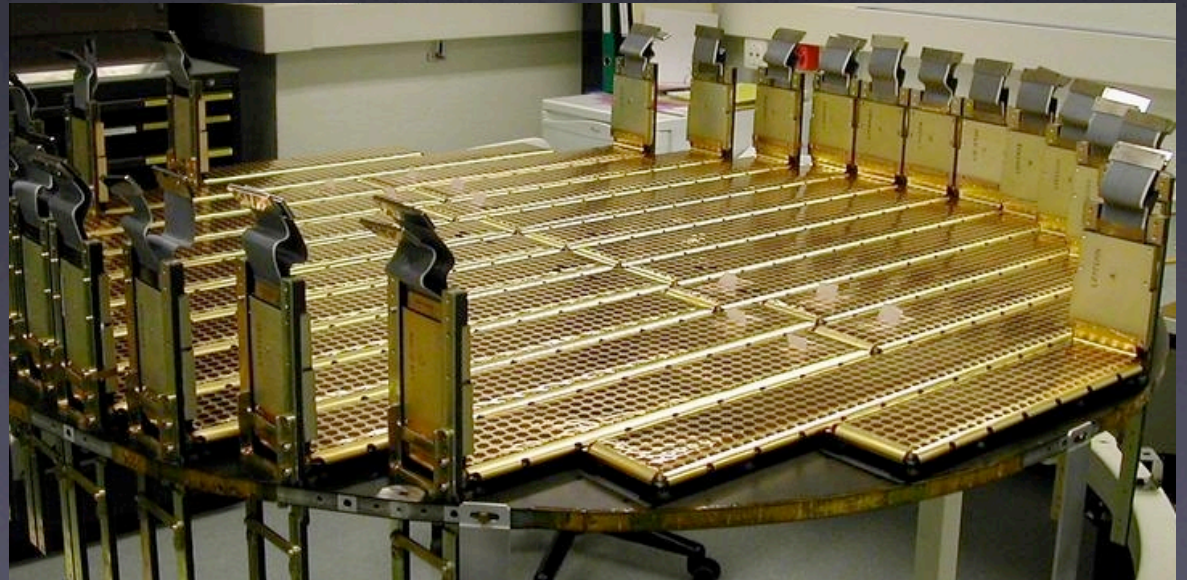
ECAL



- Calorimètre électromagnétique de type SPACAL
- Assemblage Pb + fibres scintillantes
- Echantillonnage X-Y
- Epaisseur $\sim 16 X_0$
- 324 photo-multiplicateurs
- 1296 canaux

Détecteur de traces (STD)

- Huit couches de Si réparties sur 6 plans
- Champ magnétique de 0.8 T au centre
- $\sigma = 10 \mu\text{m}$ dans le plan de courbure
- $\sigma = 30 \mu\text{m}$ dans le plan perpendiculaire au plan de courbure
- 7 m^2
- 200000 canaux



Tests de calibration

Calibration d'ECAL

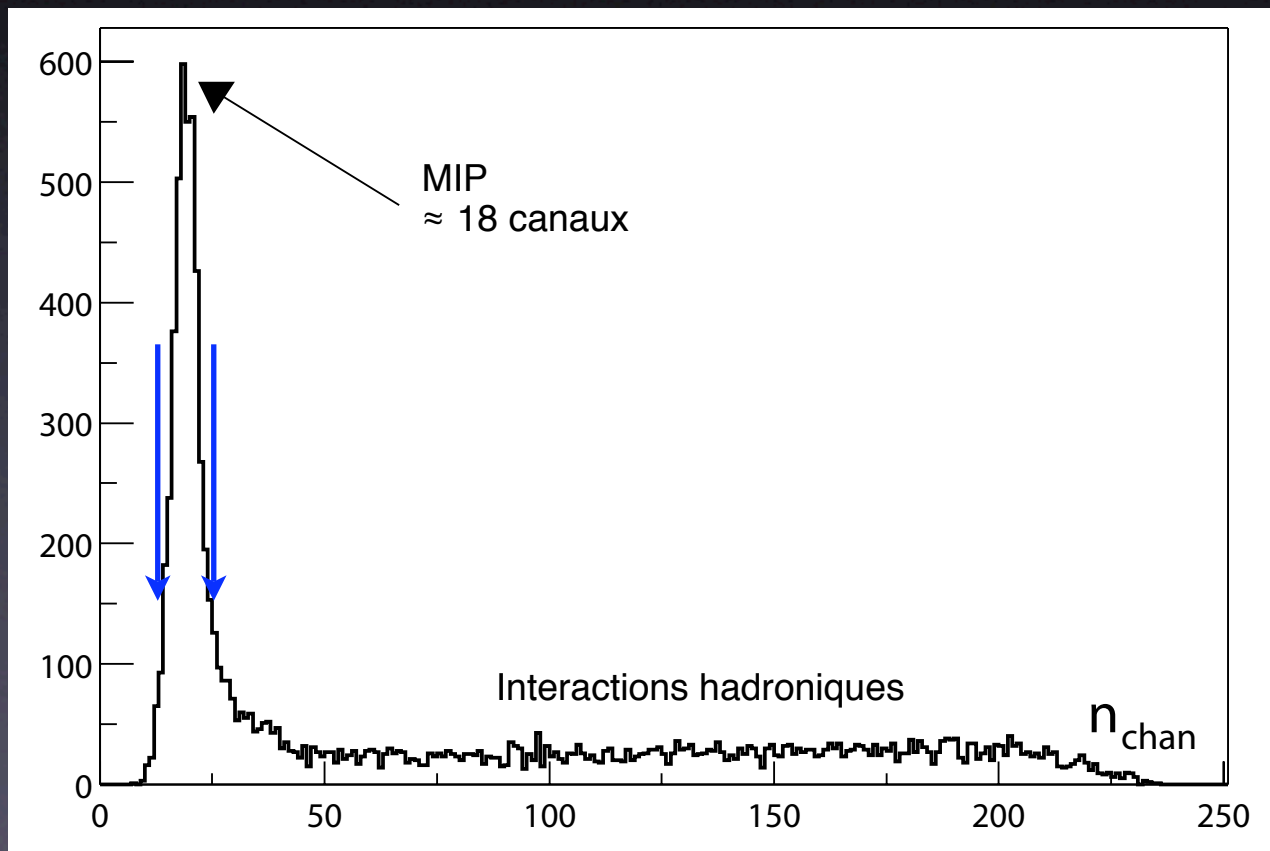
- Tests sur faisceau de juillet 2002 au CERN (SPS)
- e^- de 3 GeV à 180 GeV,
 p et μ à 120 GeV,
 \bar{p} à 120 GeV et 180 GeV
- Au cours de cette thèse, plusieurs études ont été menées:
 - Stabilité du piédestal
 - Stabilité du MIP
 - Calibration en énergie :
Comparaison Monte Carlo - Données

Méthode

- Utilisation des données p et \bar{p} à 120 GeV
 - À cette énergie, comportement identique des protons et des antiprotons
 - MIP tant qu'il n'y a pas d'interaction hadronique
- Principe de l'analyse :
 - Soustraction du piédestal
 - Sélection de n_{chan} canaux actifs (signal $> 5 \sigma_{\text{ped}}$)
 - Coupure sur n_{chan} pour sélectionner le signal MIP
 - Signal MIP caractérisé par l'ajustement d'une fonction de Landau

Distribution de n_{chan}

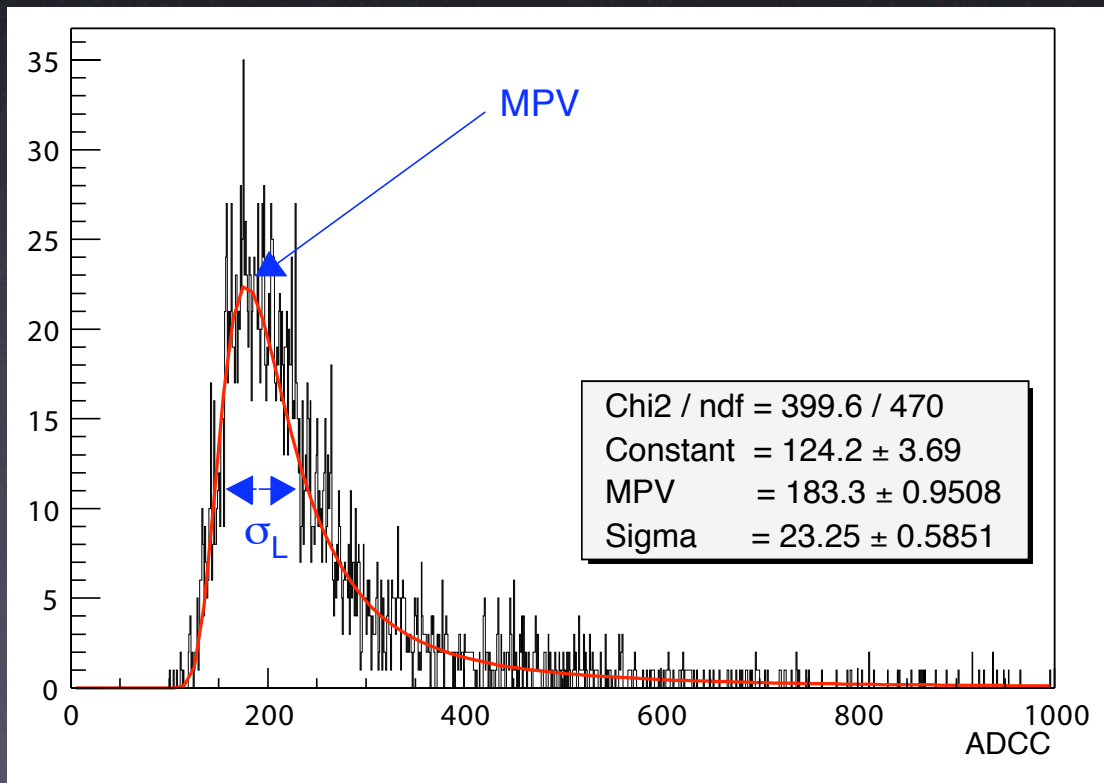
Protons 120 GeV



Coupure
 $15 < n_{\text{chan}} < 25$

Caractérisation du MIP

- Ajustement de la distribution de l'énergie déposée avec une courbe de Landau:



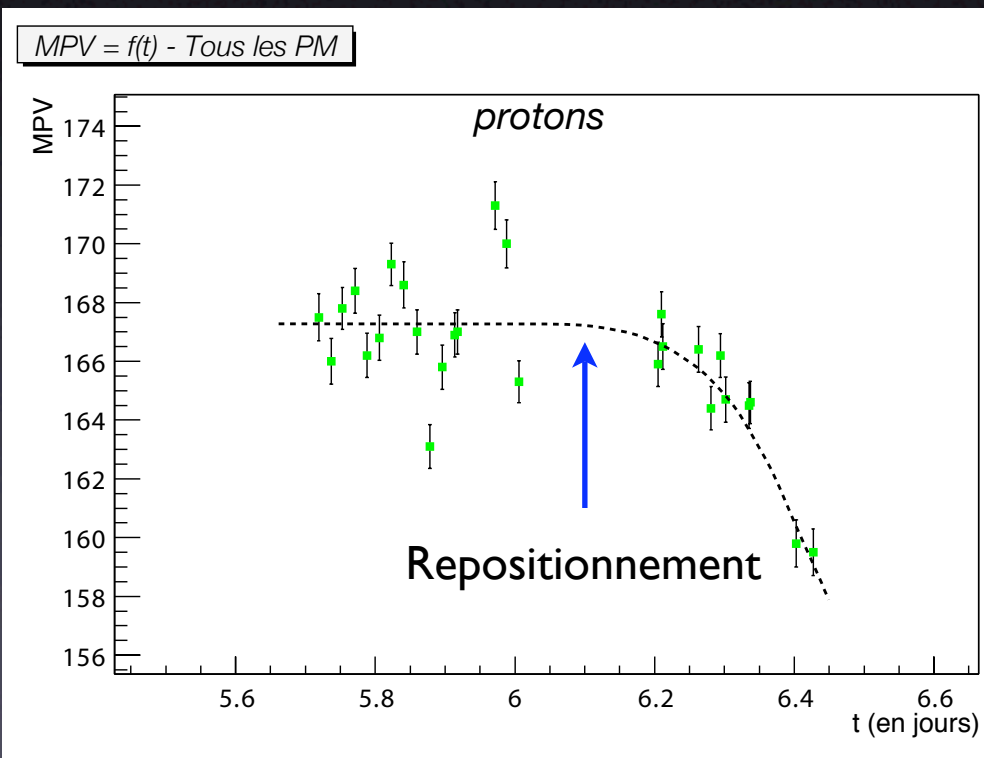
$$f(y) = k \times \exp\left(-\frac{y + e^{-y}}{2}\right)$$

avec

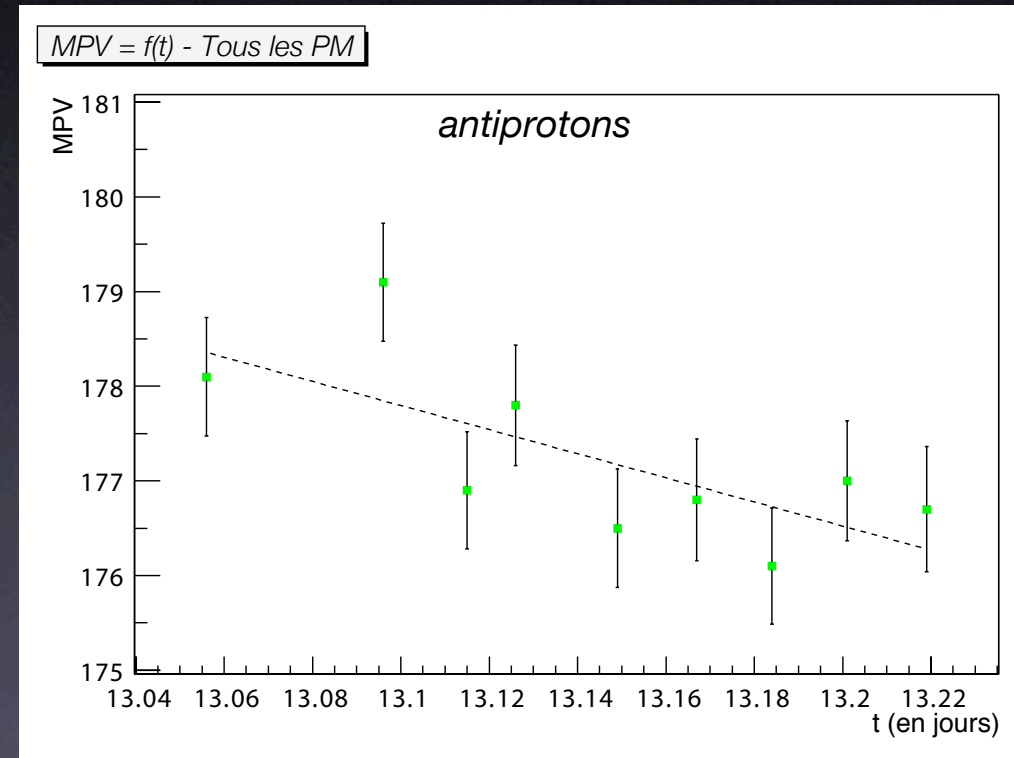
$$y = \frac{x - MPV}{\sigma_L}$$

Résultats

- Evolution de la MPV au cours du temps



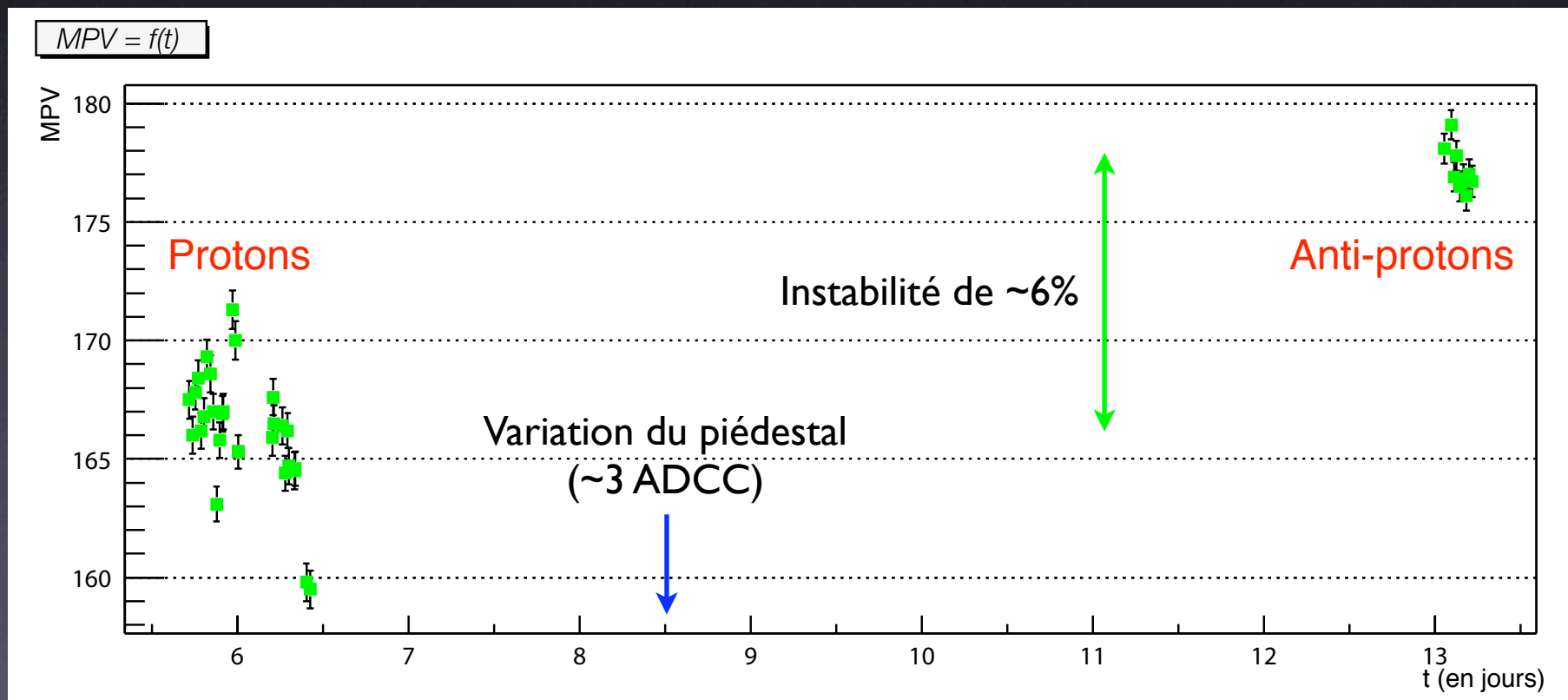
-35 ADCC/jour après jour 6



-12.5 ADCC/jour

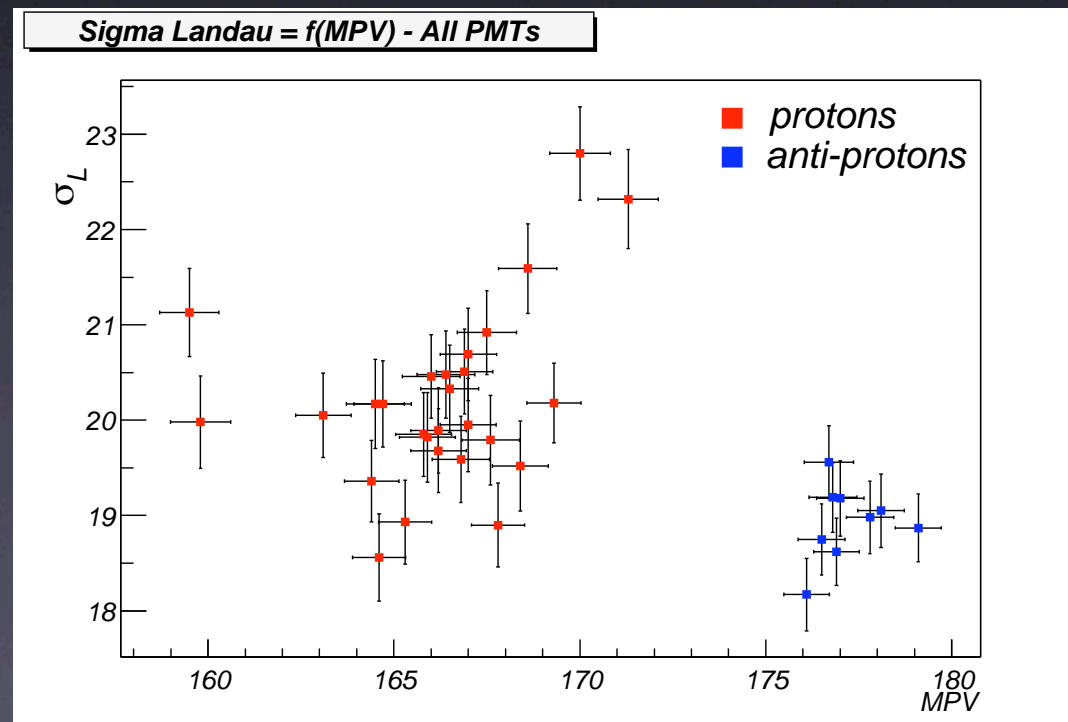
Résultats

- Environ 10 ADCC (~ 8 MeV) d'écart entre les \bar{p} et les p
- Instabilité du piédestal insuffisante pour expliquer cet écart (~ 3 ADCC)



Résultats

- σ_L en fonction de MPV
- p et \bar{p} sont bien séparés car MPV différentes
- σ_L comparables pour les p et les \bar{p}

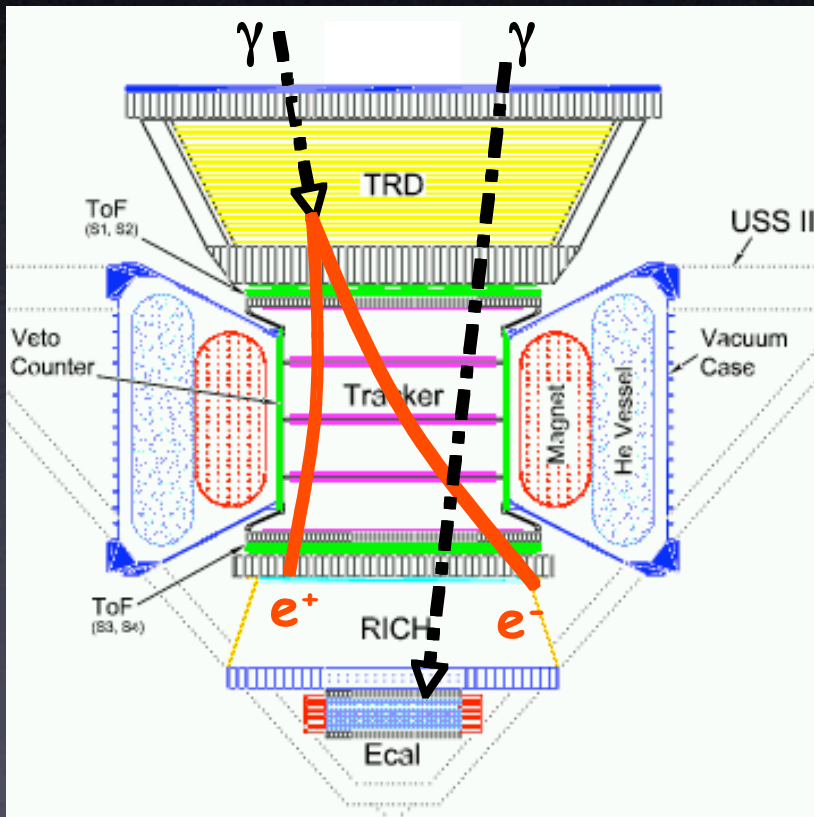


Conclusions

- Instabilité à l'échelle d'une semaine
- Impossibilité d'intercalibrer avec le MIP proton
- Instabilité du piédestal insuffisante pour l'expliquer
- A mettre en cause:
 - Légers déplacements du calorimètre
 - Stabilité de l'électronique
 - Mise à la masse peu soignée
- Tous ces problèmes ont été résolus lors des tests de 2004

La détection des γ dans AMS-02

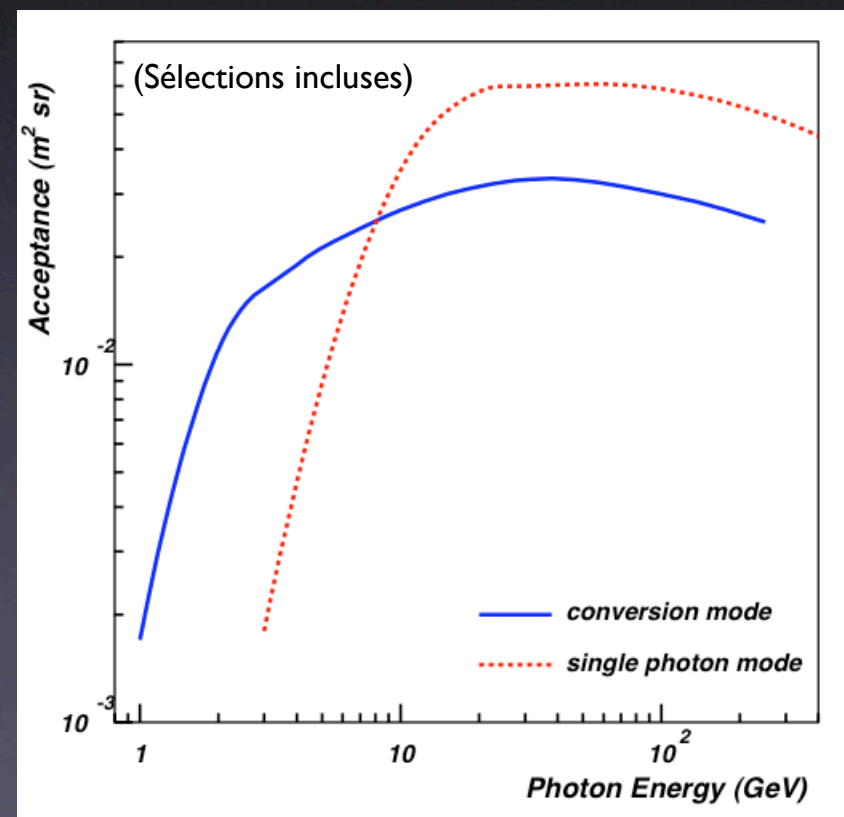
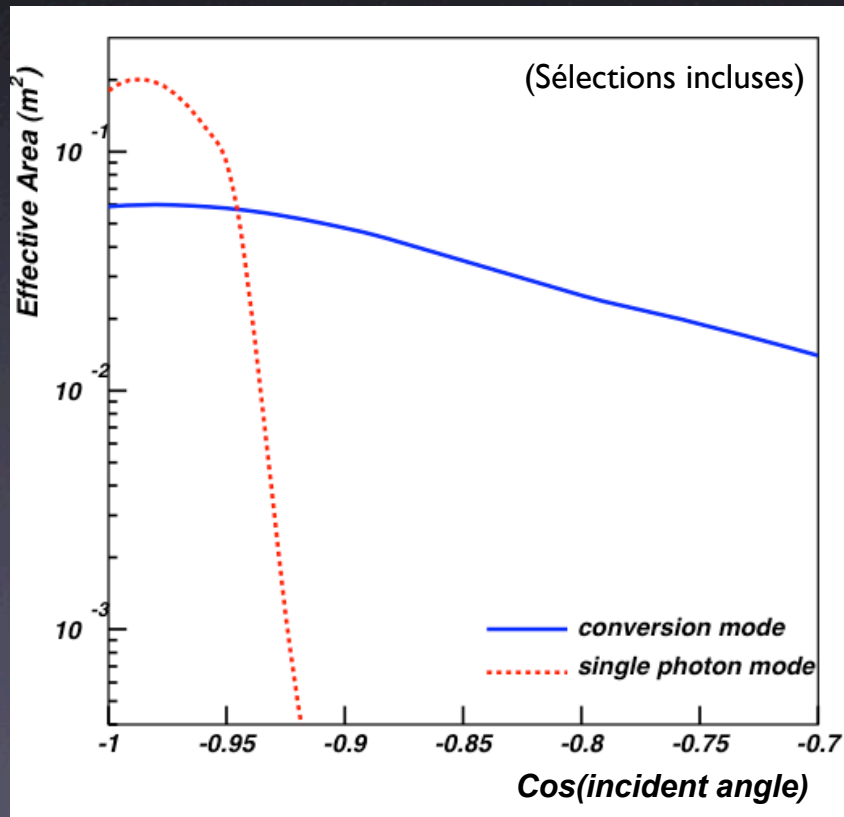
Détecter des gamma avec AMS-02



- Deux modes complémentaires:
- Mode Tracker: conversion en paire $e^+ e^-$ dans le TRD (20%)
- Mode ECAL: une seule cascade EM, pas de hit dans le TOF et dans le Tracker (80%)
- Facteur de suppression proton-gamma $\sim 10^4-10^5$

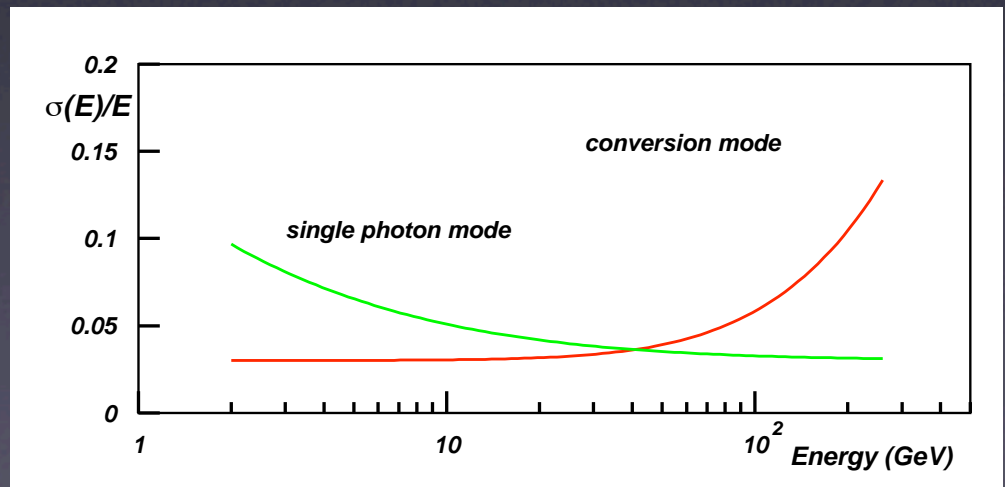
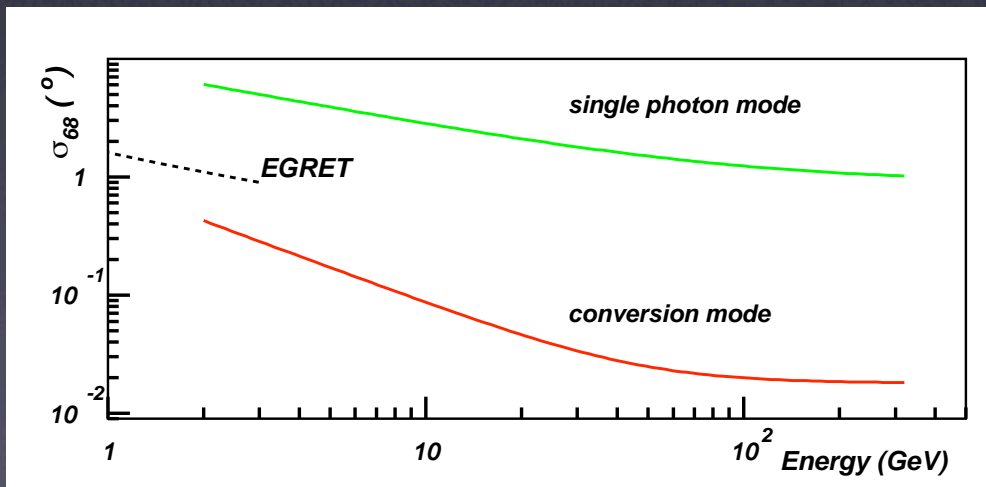
Acceptances

- Les deux modes sont complémentaires
- STD : meilleure couverture angulaire (FOV $\sim 45^\circ$)
- ECAL : meilleure acceptance pour $E > 10$ GeV



Résolutions

- En mode Tracker, 0.1° à 10 GeV
- En mode ECAL, 3° à 10 GeV
- Résolutions en énergie complémentaires



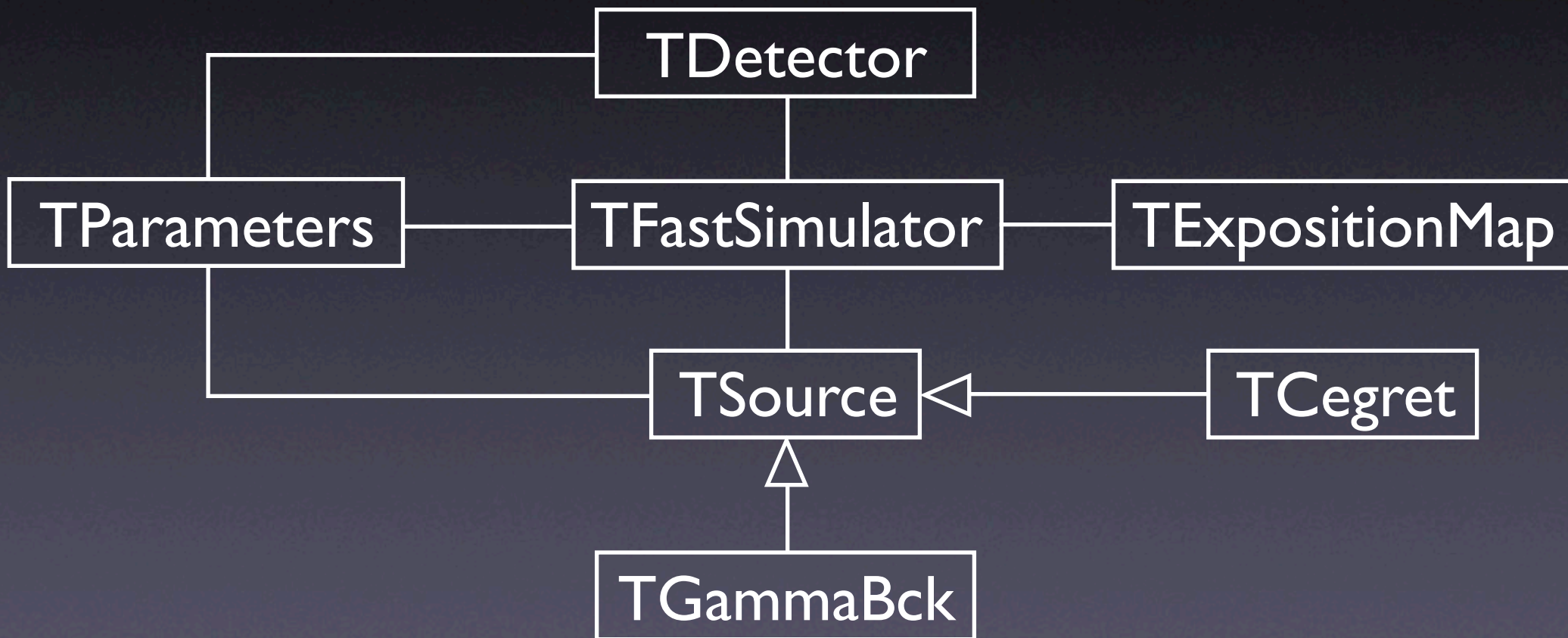
Simulation rapide

(en collaboration avec G. Lamanna, I. Sevilla-Noarbe & M. Sapinski)

- Développement orienté objet avec:
 - Une simulation de l'orbite de l'ISS : temps d'exposition (I. Sevilla-Noarbe)
 - Une paramétrisation des acceptances et résolutions du ECAL et du STD
 - Le flux des sources donné par le 3e catalogue EGRET ou par des outils de simulation de matière noire SUSY (DarkSUSY, SUSPECT)
 - Fond gamma galactique (M. Sapinski)
- Résultat : le nombre de photons détectés

Simulation rapide

- Outil modulaire et très général



Prédictions pour les sources

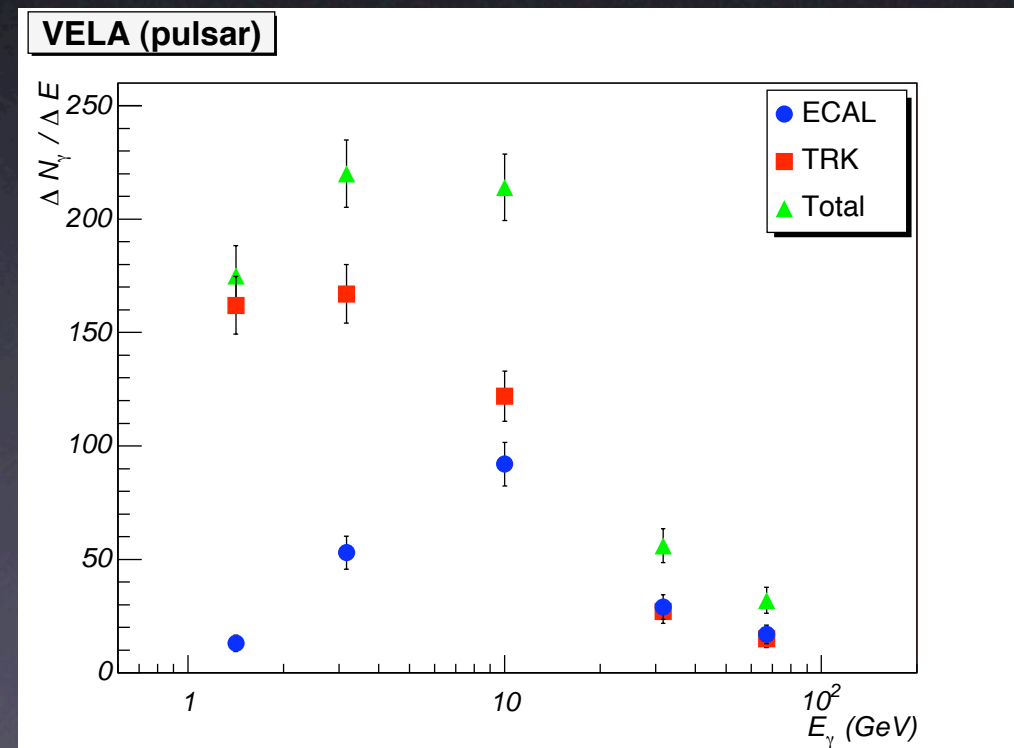
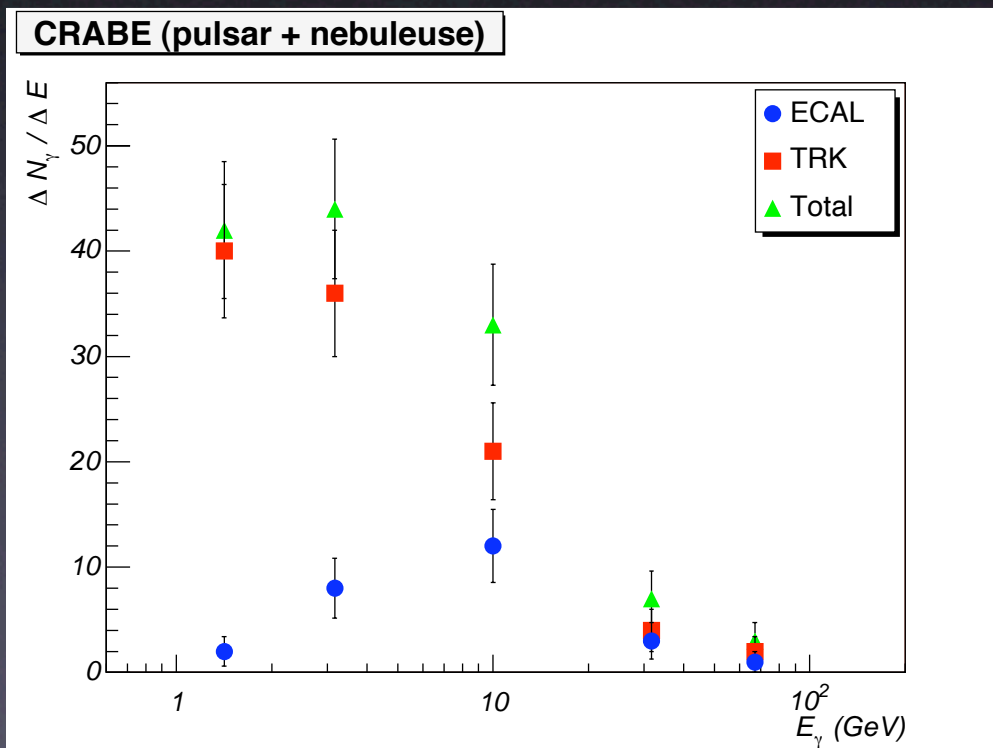
Pour un an de fonctionnement, avec un seuil de 1 GeV

Source	Type	S (total)	$B_{2\sigma}$ (EGRET)	N_{σ}
0208-512	Blazar	56	4	28.0
0528+134	Blazar	23	6	9.4
Crab	Pulsar	131	29	24.3
Geminga	Pulsar	333	49	47.4
Vela	Pulsar	646	46	95.2
3C279	Blazar	186	6	157.2
1406-076	Blazar	41	6	17.3
1633+382	Blazar	83	8	30.1

Pour les **pulsars**, résultats surestimés (cut-off exponentiel du spectre)

Prédictions pour les sources

- Exemple pour le Crabe
 - Si cut-off à 30 GeV (cavité externe), statistique -7%
 - Si cut-off à 10 GeV (calotte polaire), statistique -25%



Prédictions pour la matière noire au centre galactique

- Nous considérons
 - que la matière noire est constituée de neutralinos
 - que la matière noire forme un halo autour du centre de la Galaxie
 - plusieurs profils de densité pour le halo : NFW, NFW-Cuspy et Moore
 - plusieurs modèles SUSY : modèles de *benchmark* (Ellis et al. 2002)
- Fond gamma : 3.2 photons à 2σ dans le STD (Bergstrom et al. 1998)

Prédictions pour la matière noire au centre galactique

Résultats pour le STD pour 3 ans de fonctionnement et
un seuil de 3 GeV

Modèle	NFW-std	S/B	NFW-cuspy	N_σ	Moore	N_σ
B	0.1	0.03	5	2.7	16	8.9
G	0.1	0.03	3	1.7	10	5.6
I	0.6	0.19	24	13.4	69	38.6
K	0.2	0.06	8	4.5	24	13.4
L	1.4	0.44	62	34.6	179	100.1

Prédictions pour la matière noire au centre galactique

Résultats pour le STD pour 3 ans de fonctionnement et
un seuil de 3 GeV

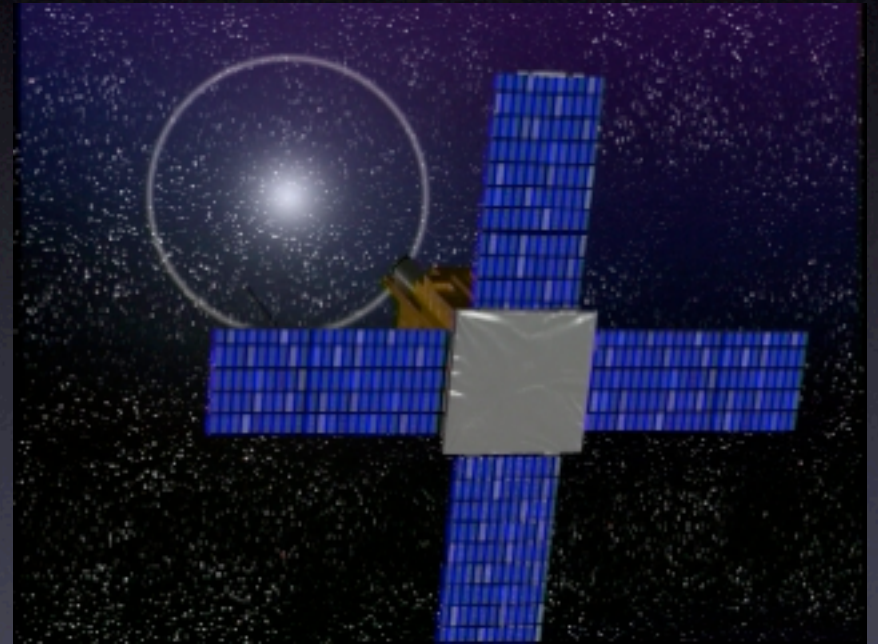
Modèle	NFW-std	S/B	NFW-cuspy	N_σ	Moore	N_σ
B	0.1	0.03	5	2.7	16	8.9
G	0.1	0.03	3	1.7	10	5.6
I	0.6	0.19	24	13.4	69	38.6
K	0.2	0.06	8	4.5	24	13.4
L	1.4	0.44	62	34.6	179	100.1

→ Plusieurs modèles accessibles

Conclusions

- AMS-02 sera capable de
 - détecter des sources astrophysiques galactiques et extragalactiques (Blazars, pulsars)
 - Discriminer les modèles d'émission des pulsar (calotte polaire, cavité externe)
 - Placer des limites sur plusieurs modèles SUSY dans des conditions astrophysiques favorables
- Publication astro-ph/0508349

Analyse
temporelle
des sursauts
gamma par la
mission
HETE-2



Le principe de l'étude

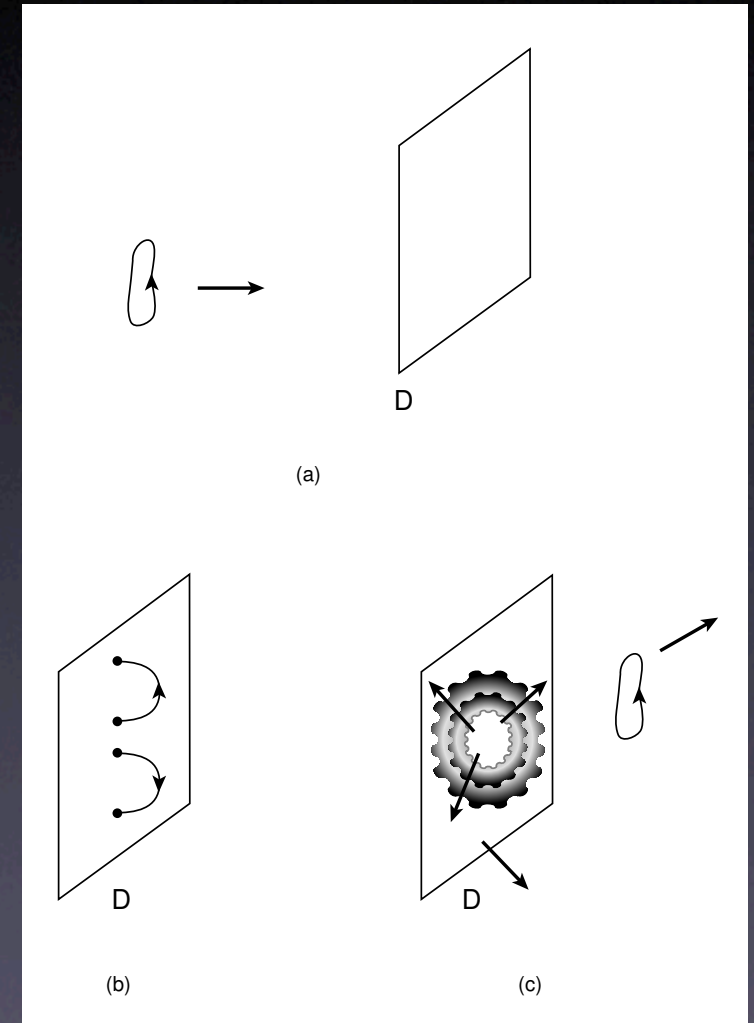
- Recherche d'un effet de gravitation quantique dans le cadre de la théorie des cordes
- Etude des courbes de lumière de 12 GRB observés par HETE-2
- Mesure des écarts de temps d'arrivée entre photons d'énergies différentes (*time lags*)
- Utilisation de la transformée en ondelettes pour analyser les courbes de lumière

Le modèle

Un modèle particulier (I)

- Modèle développé par Ellis et al. dans le cadre de la théorie des cordes (Beyond the Desert 99, Ringberg June 1999)
- Interaction d'un graviton avec une D-brane induisant une excitation et un effet de recul
- Cet effet se traduit par

$$v(E) = \frac{c}{n(E)}$$



Un modèle particulier (2)

- Cet effet mène à une relation de dispersion :

$$c^2 \mathbf{p}^2 = E^2 [1 + f(E/E_{QG})]$$

- qui devient au premier ordre

$$c^2 \mathbf{p}^2 = E^2 [1 + \xi E/E_{QG} + \mathcal{O}(E^2/E_{QG}^2)]$$

lorsque $E \ll E_{QG}$ et où $\xi \sim 1$

- Dans ces conditions, la vitesse v d'un photon d'énergie E est donnée par :

$$v \approx c \left(1 - \xi \frac{E}{E_{QG}} \right)$$

Comment tester ce modèle ?

- Pour tester ce modèle, il nous faut une source de photons :
 - lointaine
 - intense
 - variable
- Les sursauts gamma sont de bons candidats !

Tester le modèle avec les GRB

- Les GRB remplissent tous les critères énoncés précédemment, mais on doit tenir compte des effets source !
- Les pics d'émission apparaissent avant pour la haute énergie (Norris 1996).
- Norris et al. (2000) donnent une relation entre la luminosité et les *time lags*.
- Pour s'abstraire de ces effets, on étudie plusieurs sursauts à des distances différentes !

Effets cosmologiques

- Relation temps-redshift : $dt = -H_0^{-1} \frac{dz}{(1+z)h(z)}$
- Les écarts en temps seront étudiés en fonction de

$$K_l = \frac{1}{1+z} \int_0^z \frac{dz}{h(z)}$$

où $h(z) = \sqrt{\Omega_\Lambda + \Omega_M(1+z)^3}$

avec $\Omega_\Lambda = 0.7$ et $\Omega_M = 0.3$

- Finalement, on exprime Δt en fonction de K :

$$\Delta t = H_0^{-1} \frac{\Delta E}{E_{QG}} (1+z) K_l$$

Le paramètre à déterminer !

Effets cosmologiques

- On veut étudier les écarts en temps en fonction de K_l en supposant la loi $\Delta t = f(K_l)$ affine
- Mais le terme constant (effets sources) subit aussi un effet cosmologique !
- Finalement, on cherche a et b dans

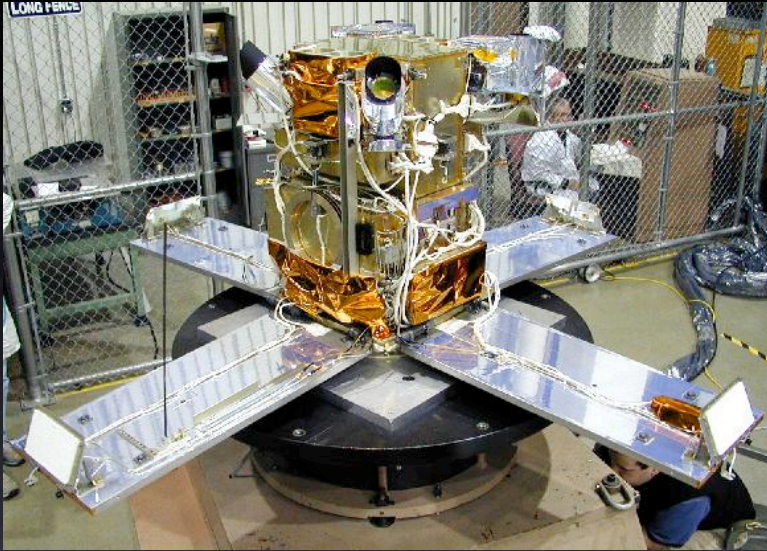
$$\frac{\Delta t}{1+z} = aK_l + b$$

où

$$K_l = \frac{1}{1+z} \int_0^z \frac{dz}{h(z)}$$

Le détecteur & les données

HETE-2 & FREGATE



- HETE-2
 - Localisation rapide des GRB
 - Large gamme d'énergie (0.5-600 keV)



- FREGATE
 - 6-400 keV
 - ~ 4 sr
 - Résolution en temps = $6.4 \mu\text{s}$
 - Temps mort = $10 \mu\text{s}$
 - Résolution en énergie = 25% à 20 keV

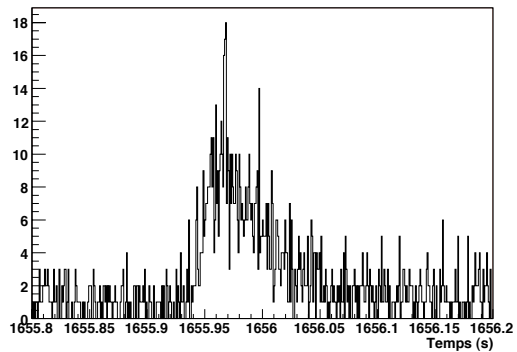
Les données

- 12 sursauts observés par FREGATE entre septembre 2001 et juillet 2005

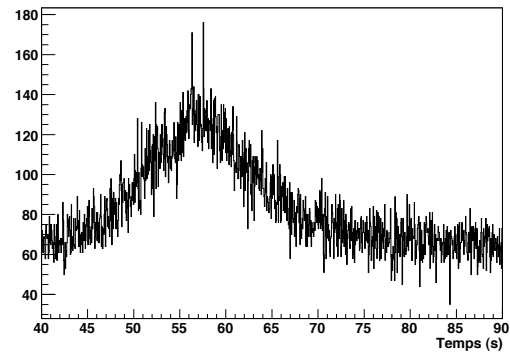
GRB	z	KI	T90 (s) *
GRB 010921	0.45	0.28	21.1
GRB 020124	3.20	0.36	46.4
GRB 020813	1.25	0.40	89.3
GRB 021004	2.32	0.39	53.2
GRB 021211	1.01	0.39	2.41
GRB 030323	3.37	0.36	27.8
GRB 030429	2.65	0.38	10.3
GRB 030528	0.78	0.36	21.6
GRB 040924	0.86	0.37	2.68
GRB 041006	0.71	0.35	19.0
GRB 050408	1.24	0.40	15.3
GRB 050709	0.16	0.13	0.07

* T90 déterminé dans la bande 30-400 keV

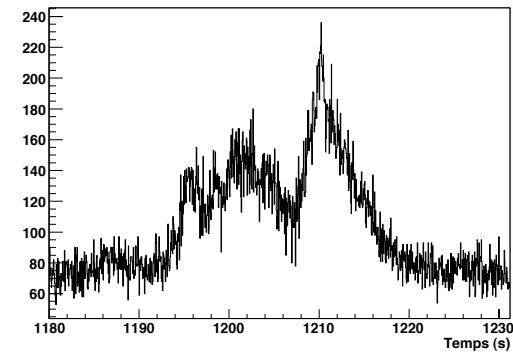
GRB 050709



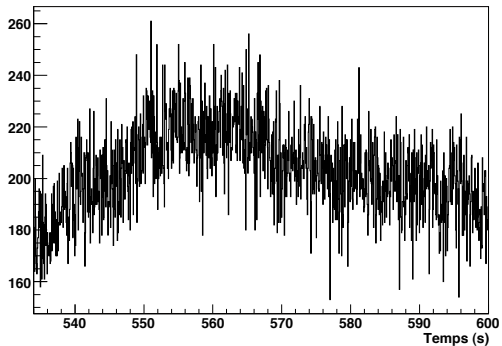
GRB 010921



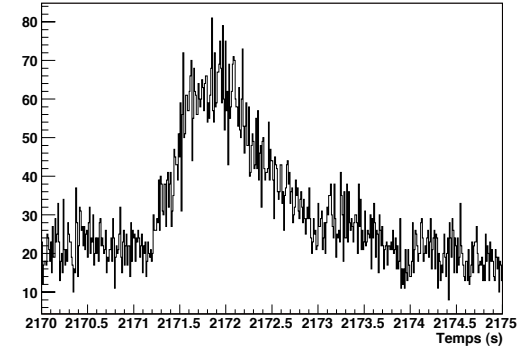
GRB 041006



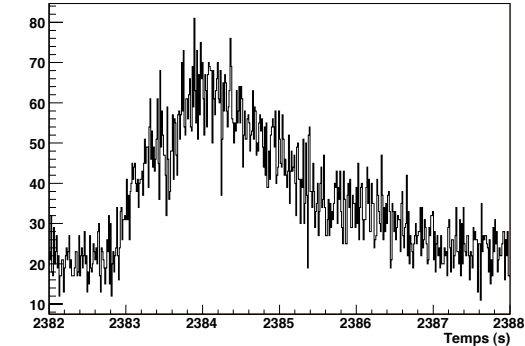
GRB030528



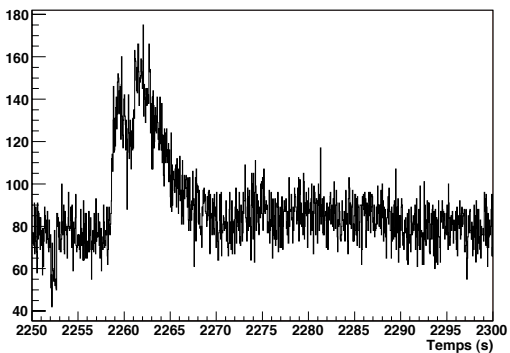
GRB 040924



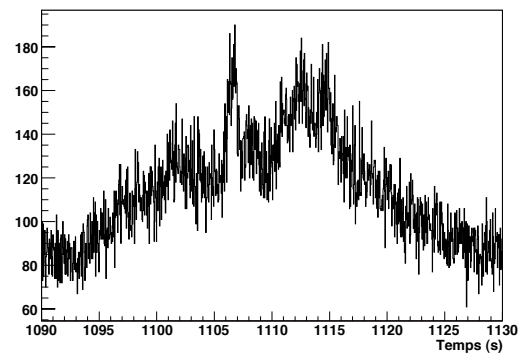
GRB 021211



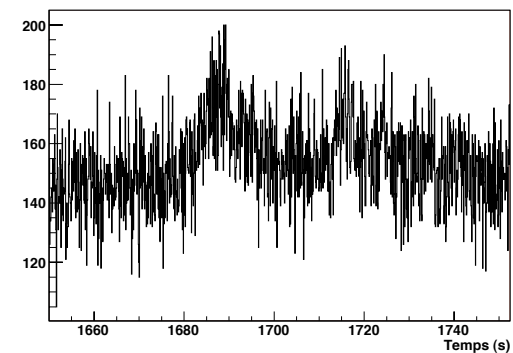
GRB 050408



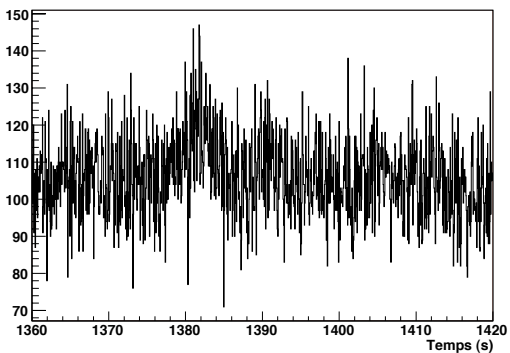
GRB 020813



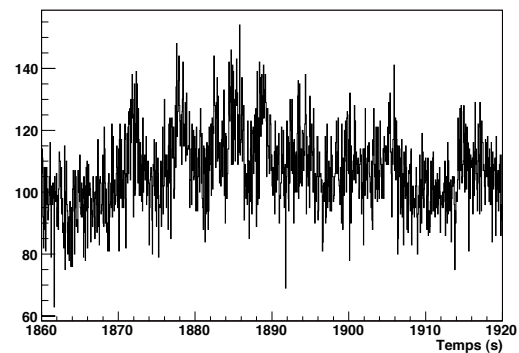
GRB 021004



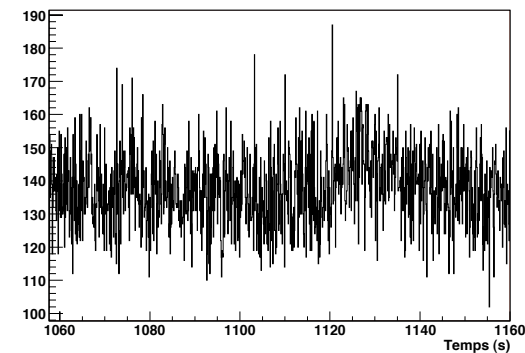
GRB 030429



GRB 020124



GRB 030323



La méthode

Méthode (I)

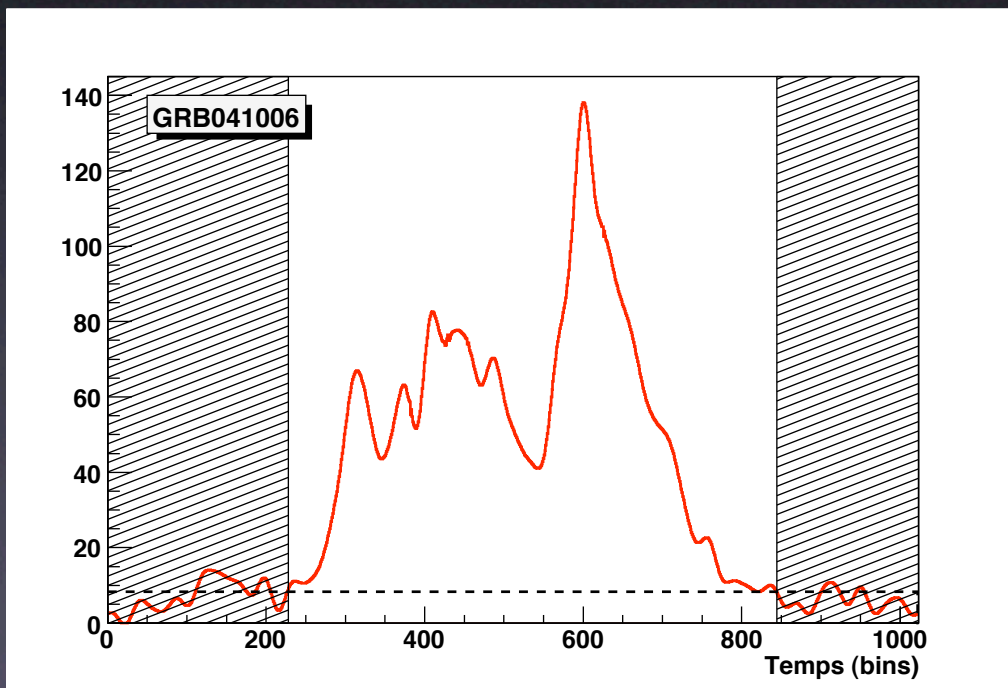
- Constitution de courbes de lumière sur toute la gamme d'énergie
 - Evaluation du bruit
 - Intervalle utile : là où le signal débruité dépasse 1σ ou 0.5σ du bruit
- Choix de différentes bandes d'énergie et de différentes façon de les associer
 - 14 scénarios

Méthode (2)

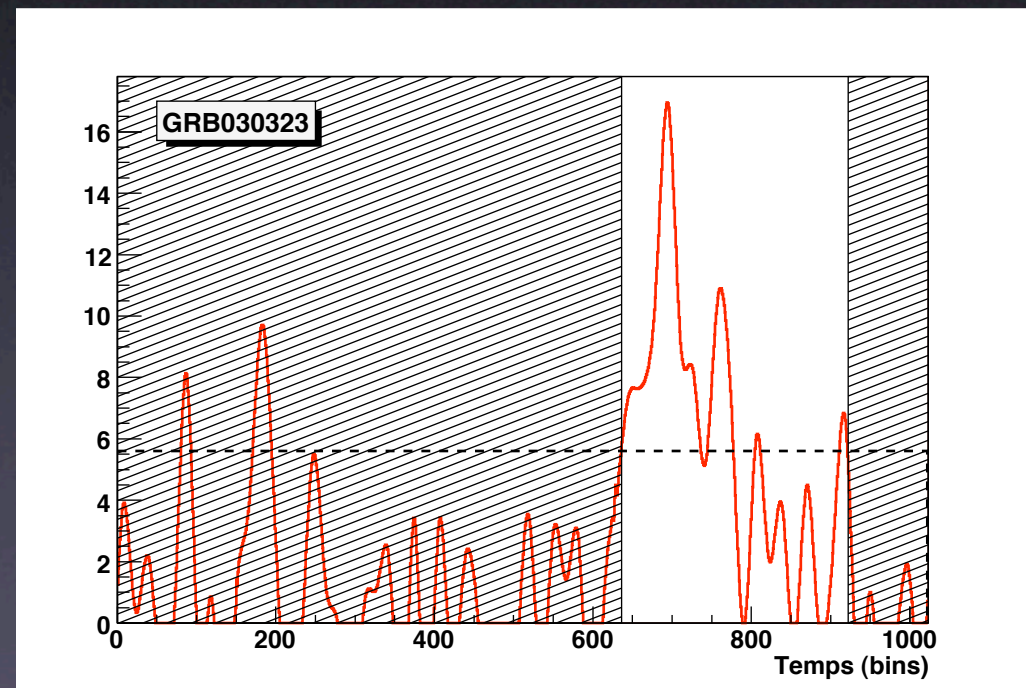
- Pour chaque scénario
 - Débruitage des courbes de lumière (DWT)
 - Recherche et localisation d'extrema (CWT)
 - Listes d'extrema avec pour chaque extrema : t , α , σ
- Sélection sur la dérivée discrète
- Association en paires de minima et de maxima
- Sélection des paires avec
 - Les écarts en temps Δt
 - Les coefficients de Lipschitz α
 - Les erreurs σ
- Détermination du Δt moyen pour chaque sursaut

Intervalles d'étude

- Intervalles déterminés à 1σ du bruit sauf pour GRB 030323 et GRB 030429 (0.5σ)



1σ



0.5σ

Choix des bandes d'énergie

courbes de lumière
dans différentes
bandes d'énergie



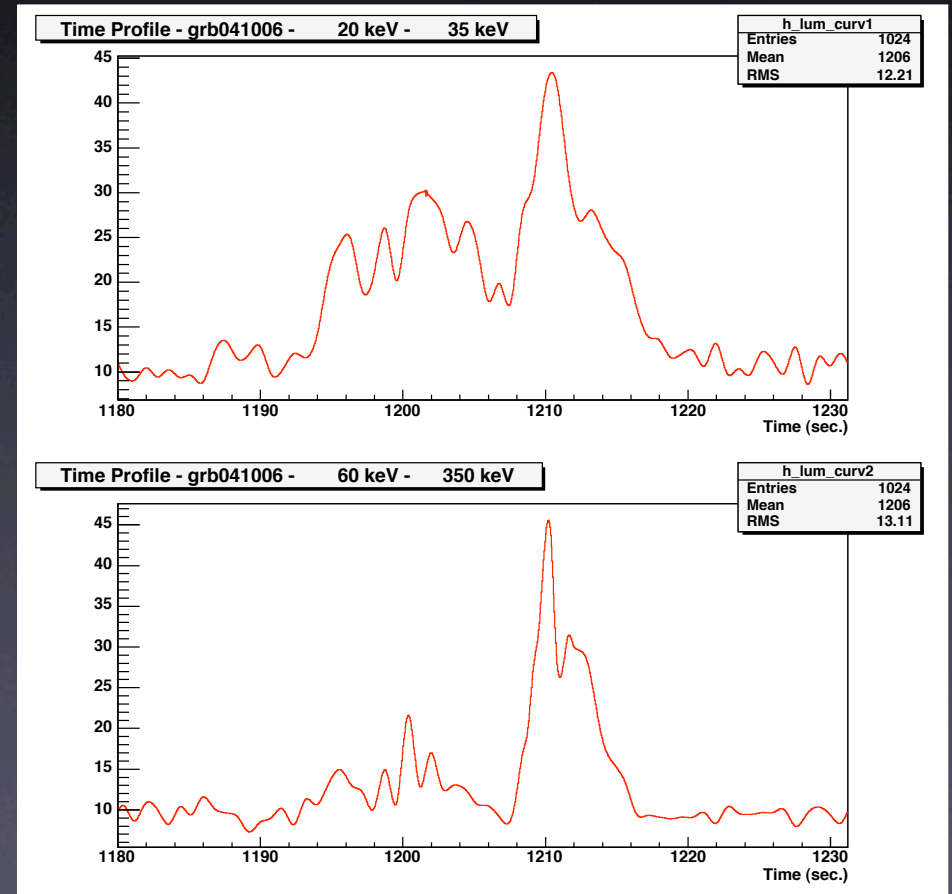
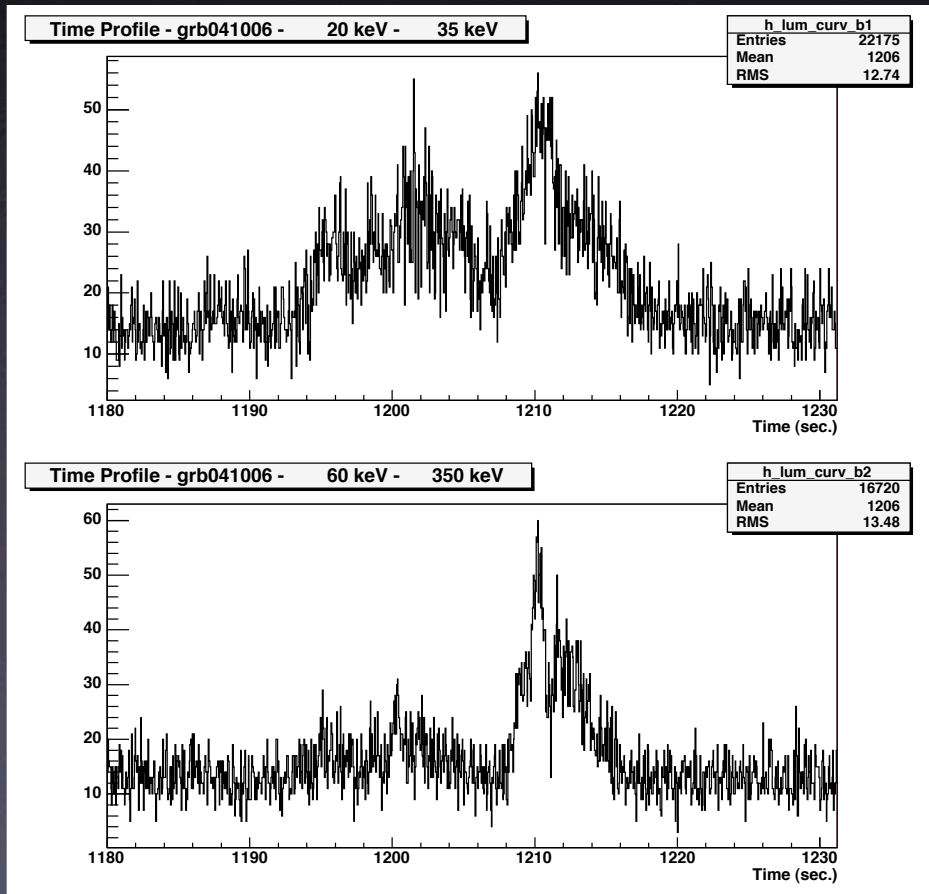
différents bras de
levier en énergie

Scénario	Bande d'énergie 1	Bande d'énergie 2
#1	20-35 keV	60-350 keV
#2	8-30 keV	60-350 keV
#3	8-20 keV	60-350 keV
#4	8-20 keV	30-350 keV
#5	8-30 keV	30-350 keV
#6	8-20 keV	40-350 keV
#7	8-30 keV	40-350 keV
#8	8-40 keV	40-350 keV
#9	20-35 keV	40-350 keV
#10	8-20 keV	50-350 keV
#11	8-30 keV	50-350 keV
#12	8-40 keV	50-350 keV
#13	8-50 keV	50-350 keV
#14	20-35 keV	50-350 keV

Débruitage (DWT)

Transformée en ondelettes discrète

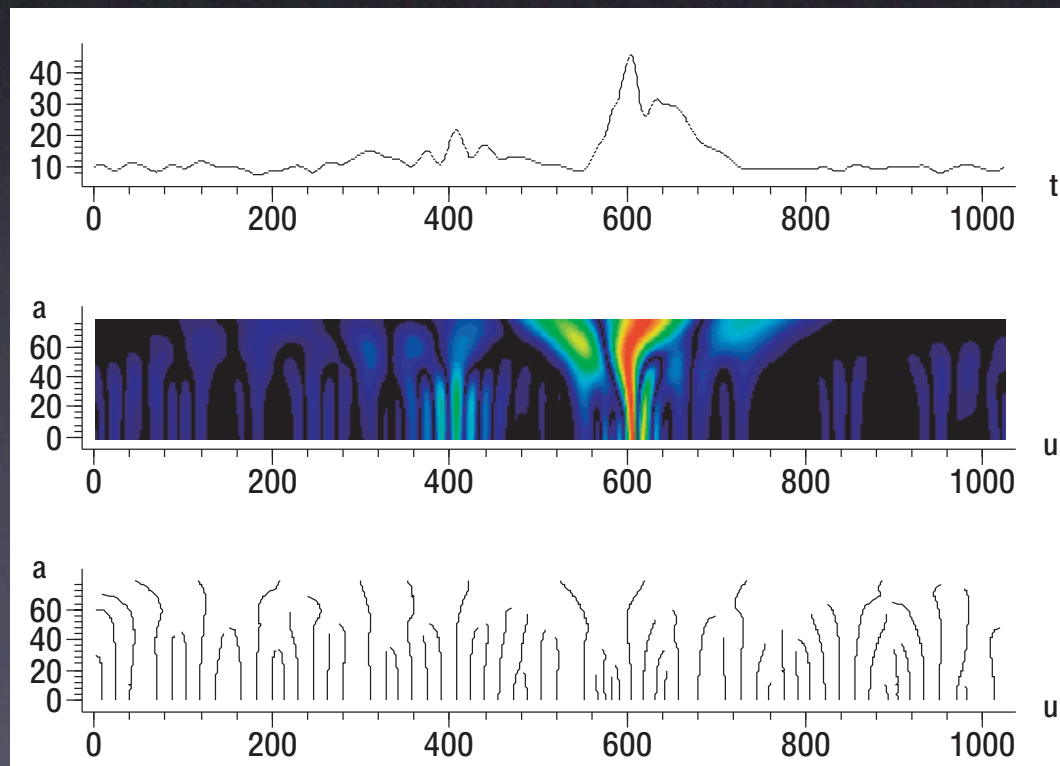
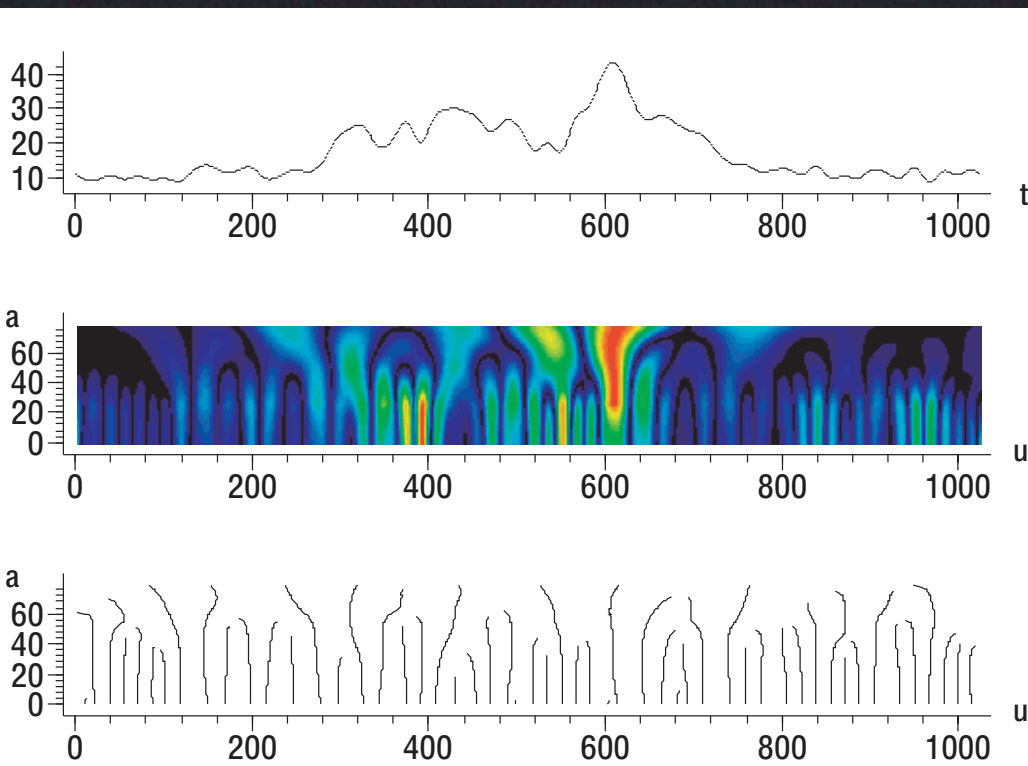
GRB 041006 - 20-35 keV - 60-350 keV



Recherche d'extrema (CWT)

Transformée en ondelettes continue

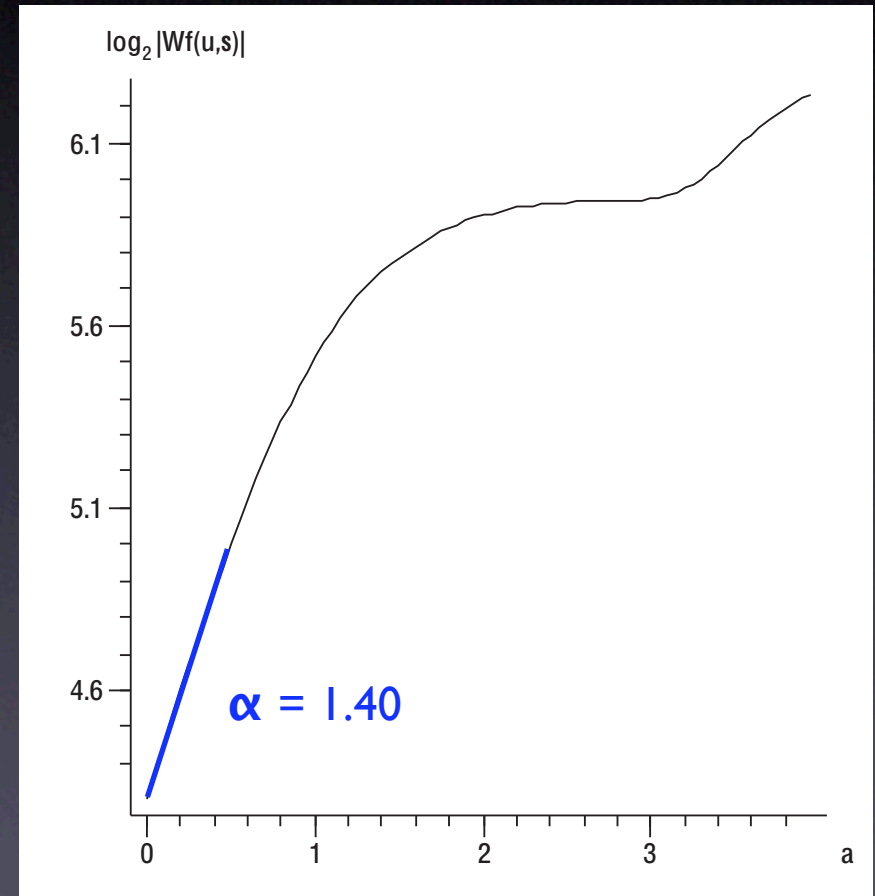
GRB 041006 - 20-35 keV - 60-350 keV



Coefficient de Lipschitz

Pour déterminer le coefficient de Lipschitz α , on étudie la variation de la transformée en ondelette quand l'échelle varie pour un extremum donné

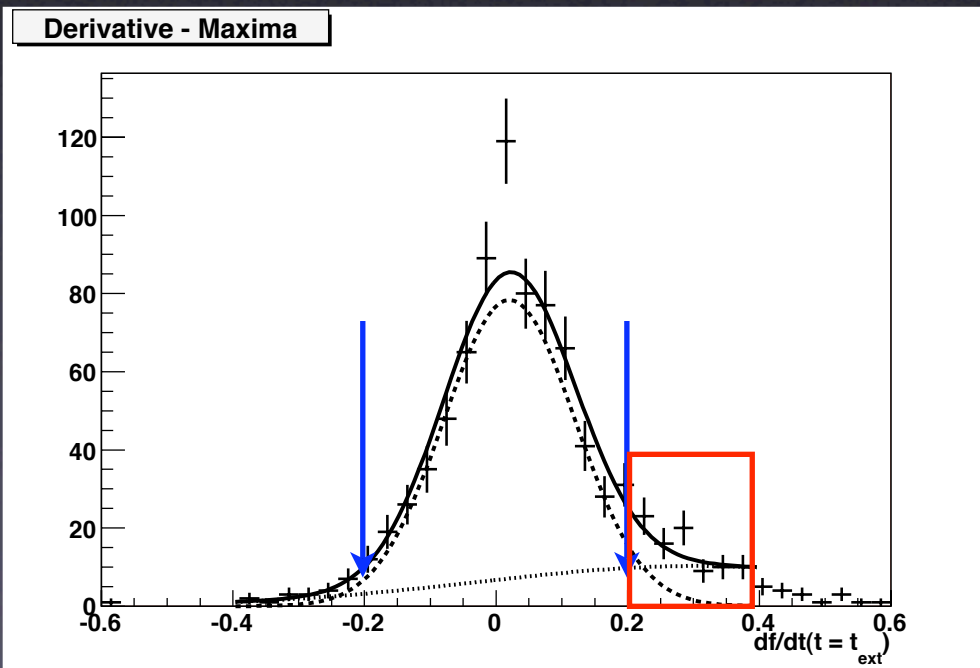
$$\log_2 |Wf(u, s)| \approx \alpha \log_2 s + \text{const.}$$



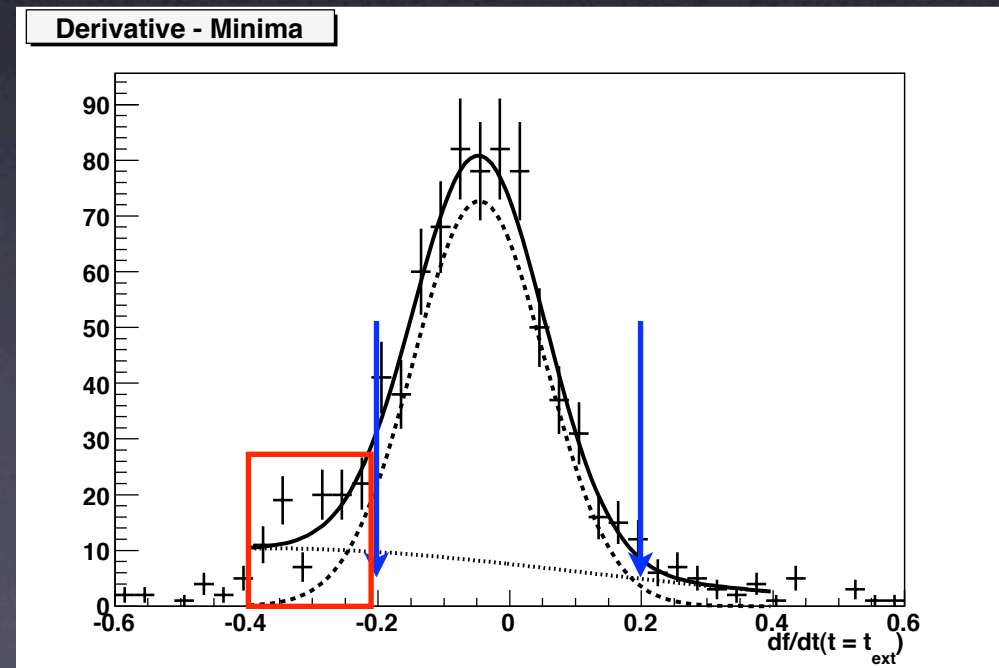
Sélections des extrema

Sélection sur la dérivée discrète : $|\Delta f/\Delta t(t = t_{\text{ext}})| \leq 0.2$

Maxima

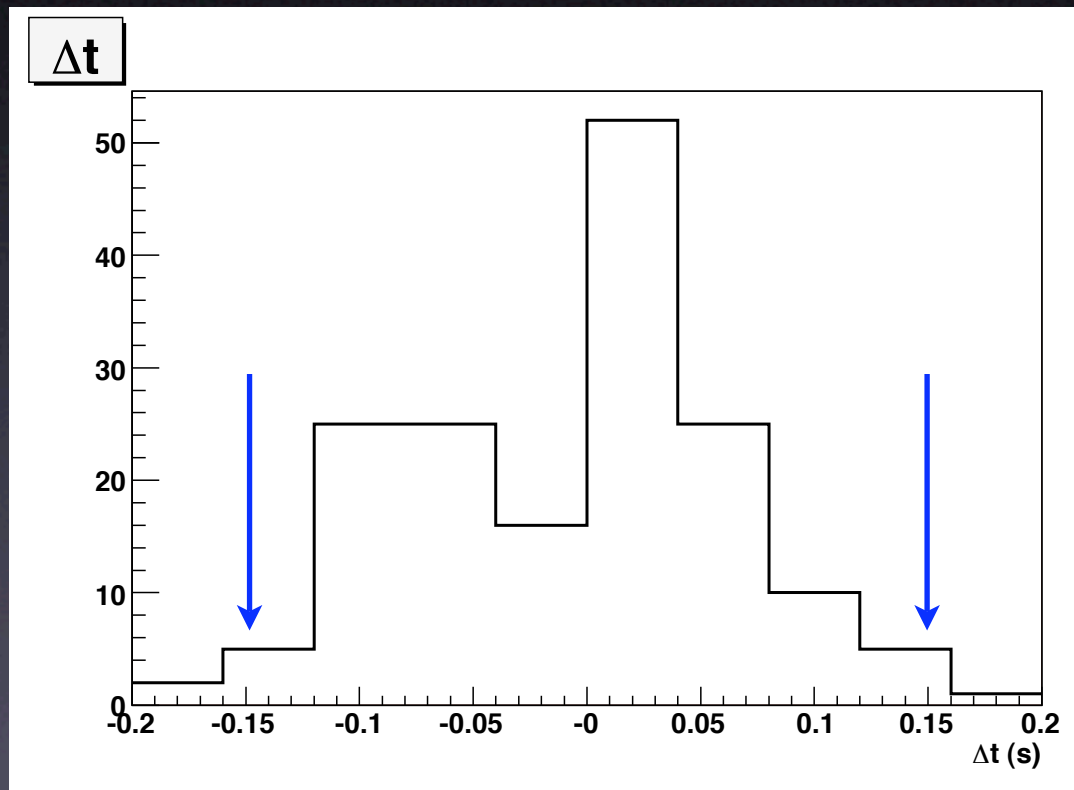


Minima



Sélections des paires (I)

Sélection sur Δt : $|\Delta t| < 150$ ms



coupure identique pour les maxima et les minima

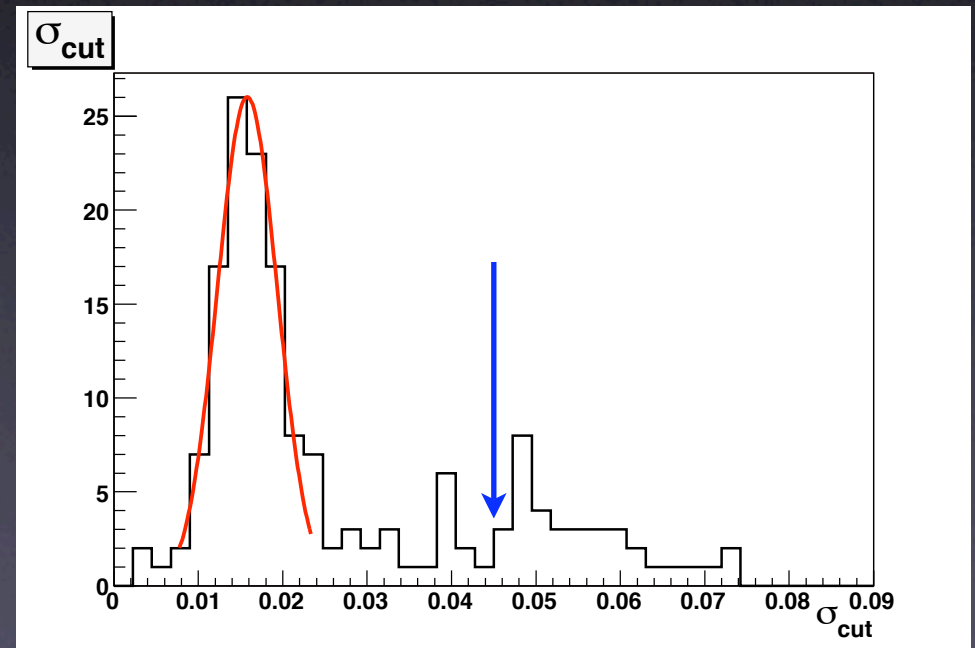
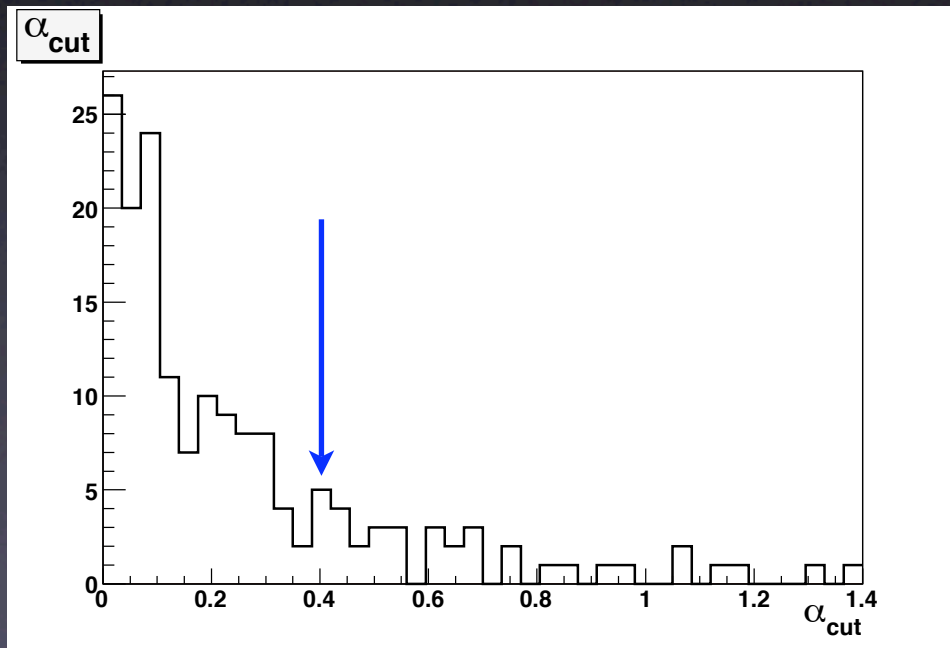
Sélections des paires (2)

Sélections sur les paires avec les variables :

$$\begin{cases} \sigma_{cut} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \\ \alpha_{cut} = |\alpha_2 - \alpha_1| \end{cases}$$

$$\alpha_{cut} < 0.4$$

$$\sigma_{cut} < 0.045$$



coupure identique pour les maxima et les minima

Etude des principales systématiques

- Ondelette de débruitage (DWT)
Symmlet-10, Daubechies-10
 - Niveau de décomposition (DWT)
taille de la base d'ondelettes (2^L , $L = 5, 6, 7$)
 - Après la CWT, sélection des extrema avec la dérivée discrète
 $|\Delta f / \Delta t|(\text{ext}) < 0.1, 0.2, 0.3$
 - Critères d'association des pics en paires
($\alpha_{\text{cut}} < 0.2, \sigma_{\text{cut}} < 0.045$) ou ($\alpha_{\text{cut}} < 0.4, \sigma_{\text{cut}} < 0.021$)
- Résultats stables

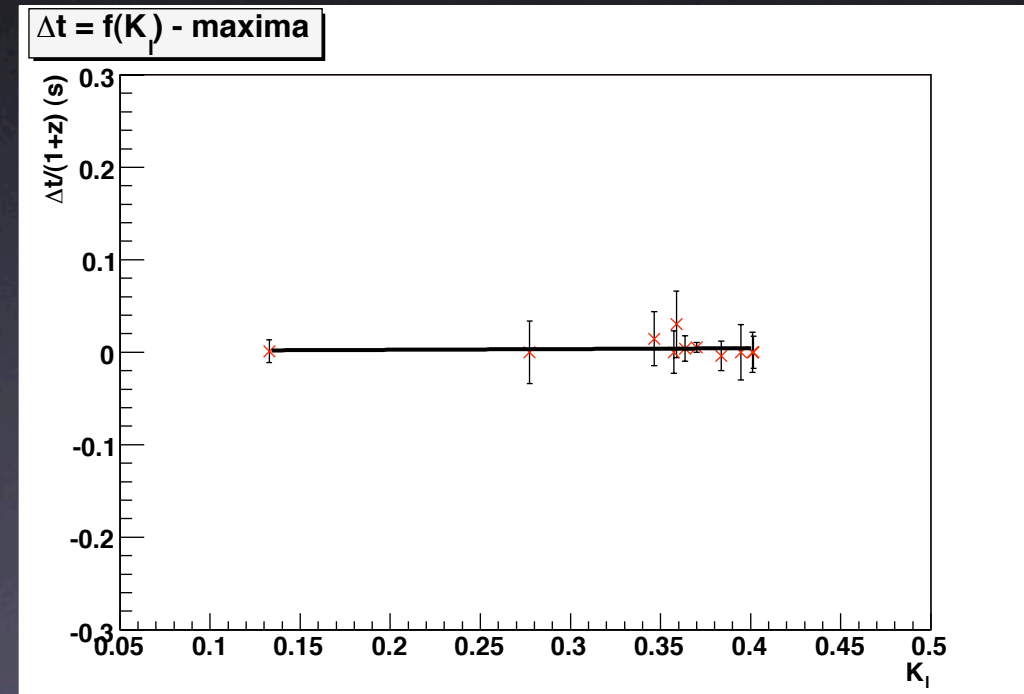
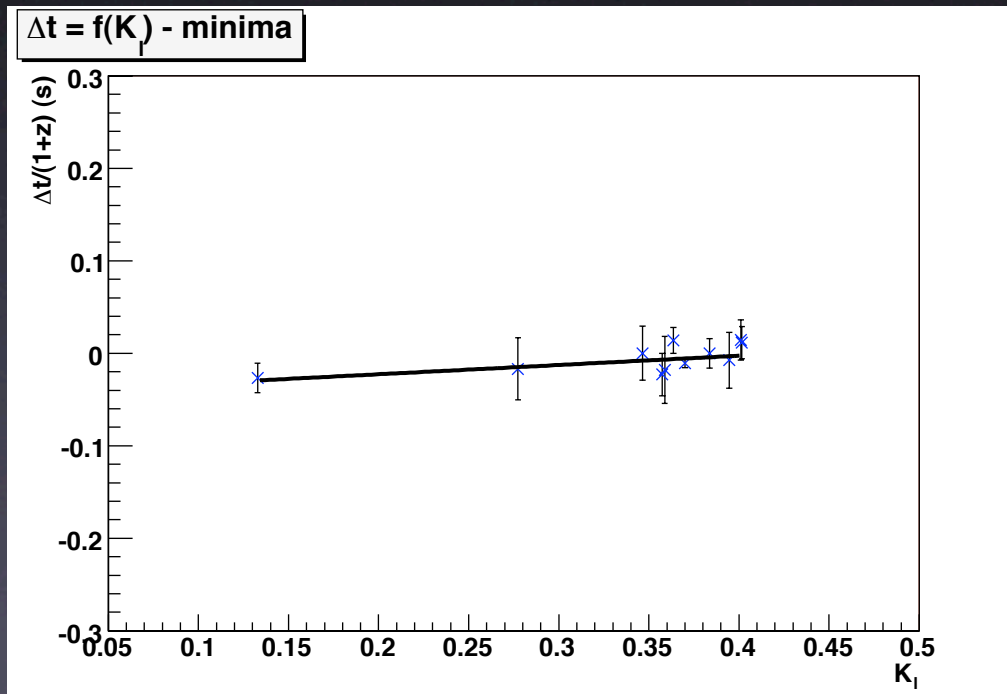
Résultats

Résultats (I)

Avec le Δt moyen pour chaque GRB
Etude de la corrélation $\Delta t/(1+z) = a K_1 + b$

Minima

Maxima



8-20 keV 60-350 keV

Résultats (I)

Scénario	Minima		Maxima	
	a	b	a	b
#1	0.0089±0.0279	-0.0032±0.0038	0.1134±0.1289	-0.0108±0.0475
#2	0.1019±0.0706	-0.0342±0.0256	-0.1767±0.2610	0.0585±0.0974
#3	0.1001±0.0673	-0.0427±0.0243	0.0085±0.0529	0.0009±0.0187
#4	-0.0213±0.0371	-0.0258±0.0053	-0.1077±0.2543	0.0339±0.0953
#5	0.0877±0.0185	-0.0403±0.0026	-0.1667±0.1215	0.0404±0.0449
#6	0.1926±0.0291	-0.0684±0.0040	-0.0120±0.0385	0.0101±0.0102
#7	0.2660±0.1383	-0.0682±0.0503	0.0683±0.0792	-0.0268±0.0274
#8	0.3757±0.0305	-0.1085±0.0044	-0.1288±0.0185	0.0380±0.0026
#9	0.0827±0.0232	-0.0541±0.0035	-0.1028±0.1059	0.0199±0.0391
#10	0.2055±0.0262	-0.0637±0.0039	-0.0311±0.0305	0.0169±0.0042
#11	0.0667±0.0930	-0.0316±0.0340	-0.1113±0.0412	0.0047±0.0059
#12	0.1505±0.0185	-0.0463±0.0026	0.0241±0.0359	0.0177±0.0051
#13	0.3617±0.0339	-0.1066±0.0048	0.0460±0.0345	-0.0189±0.0047
#14	0.3388±0.0251	-0.0881±0.0037	0.0175±0.0607	0.0082±0.0090

Résultats (2)

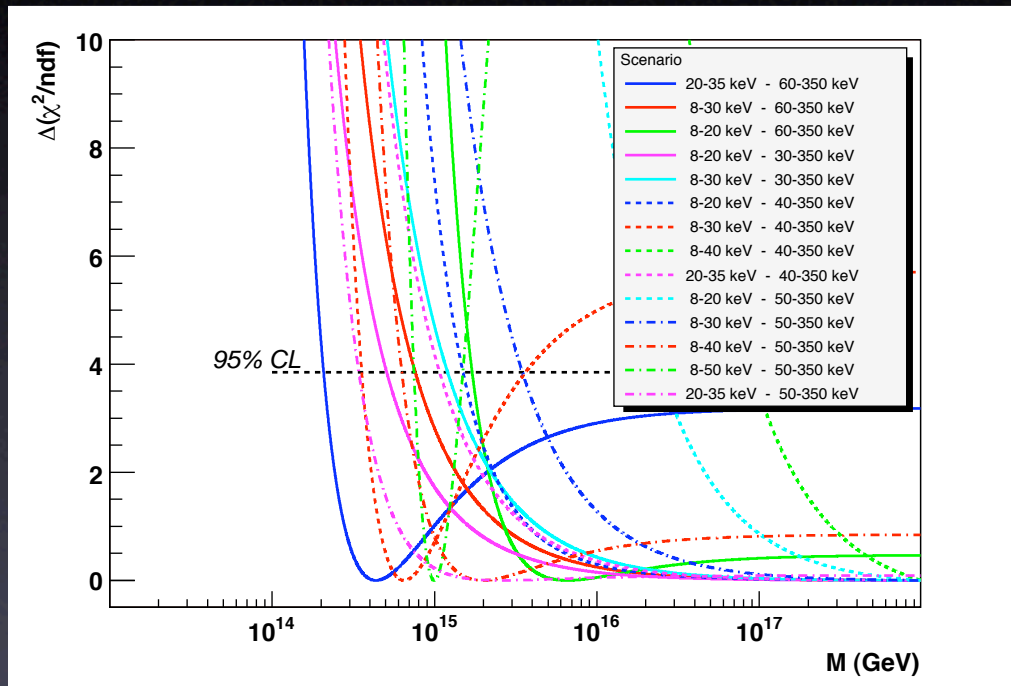
- Recherche plus fine et détermination d'une limite inférieure à 95% CL sur E_{QG}
- Minimisation de

$$\chi^2(M) = \sum_{all\ GRBs} \left(\frac{\frac{\Delta t_i}{1+z_i} - b_{shift} - a_i(M)K_{li}}{\frac{\sigma_i}{1+z_i}} \right)^2$$

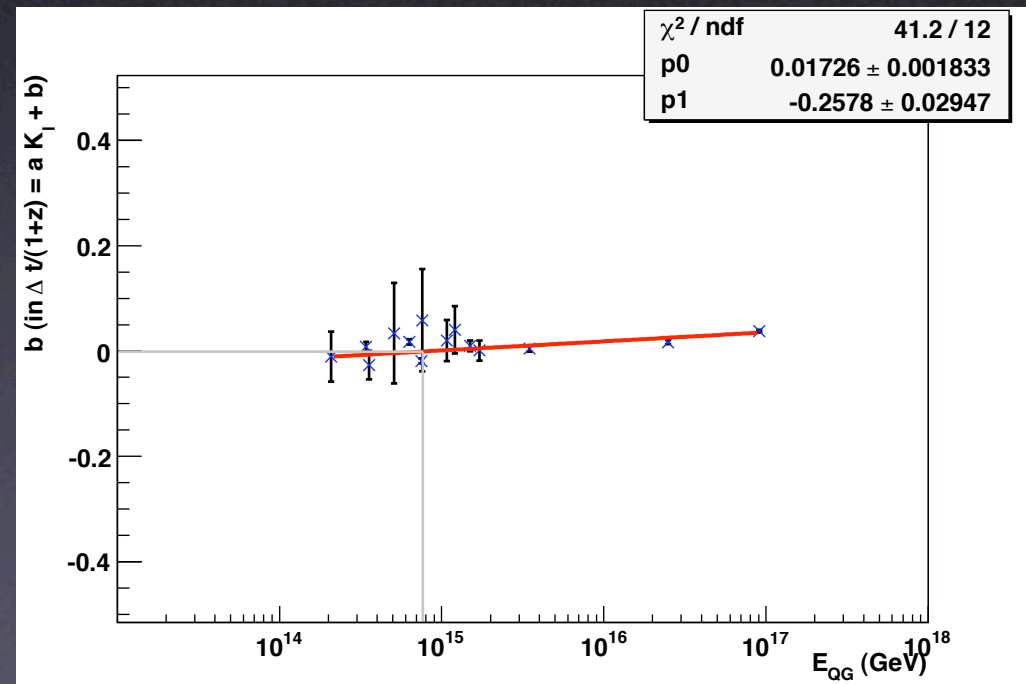
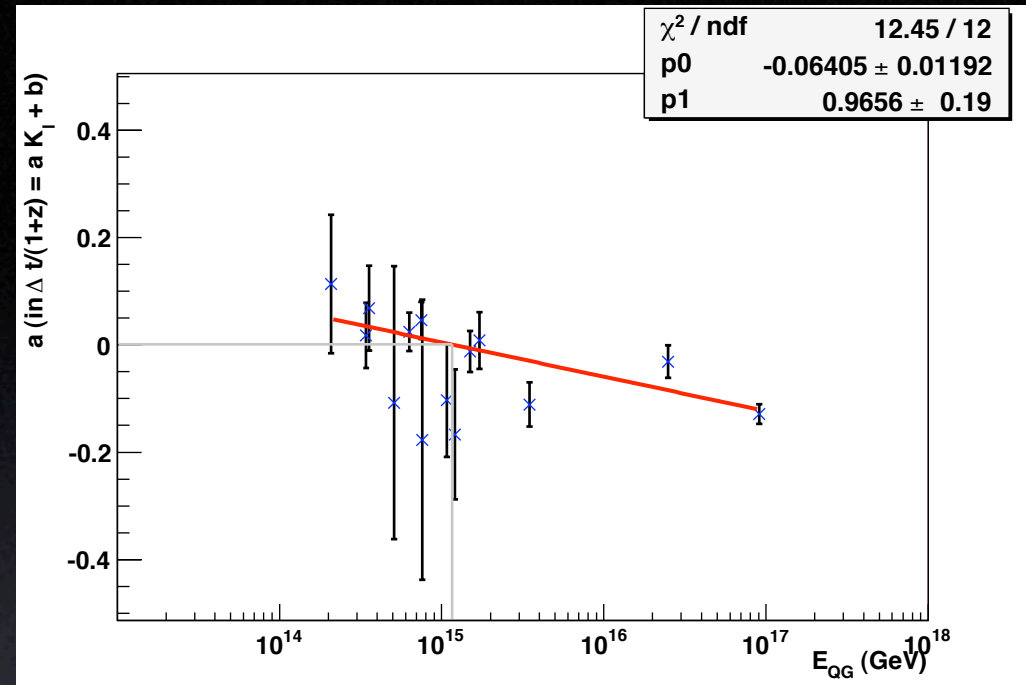
$$a_i(M) = H_0^{-1} \frac{\Delta E_i}{M}$$

- Opération réalisée pour les minima et les maxima

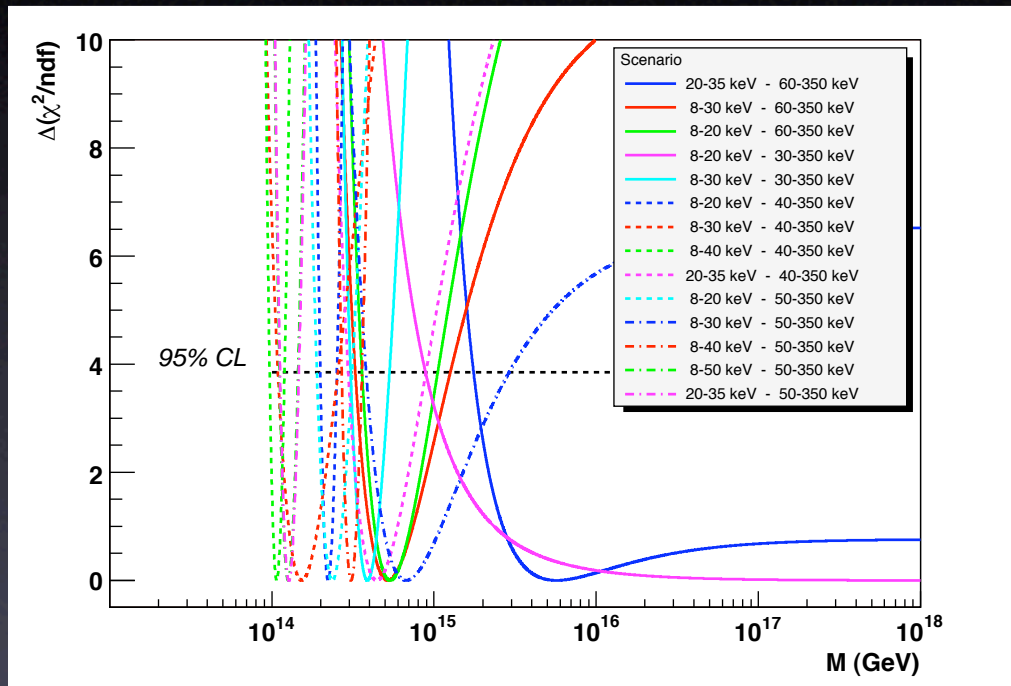
Résultats (2)



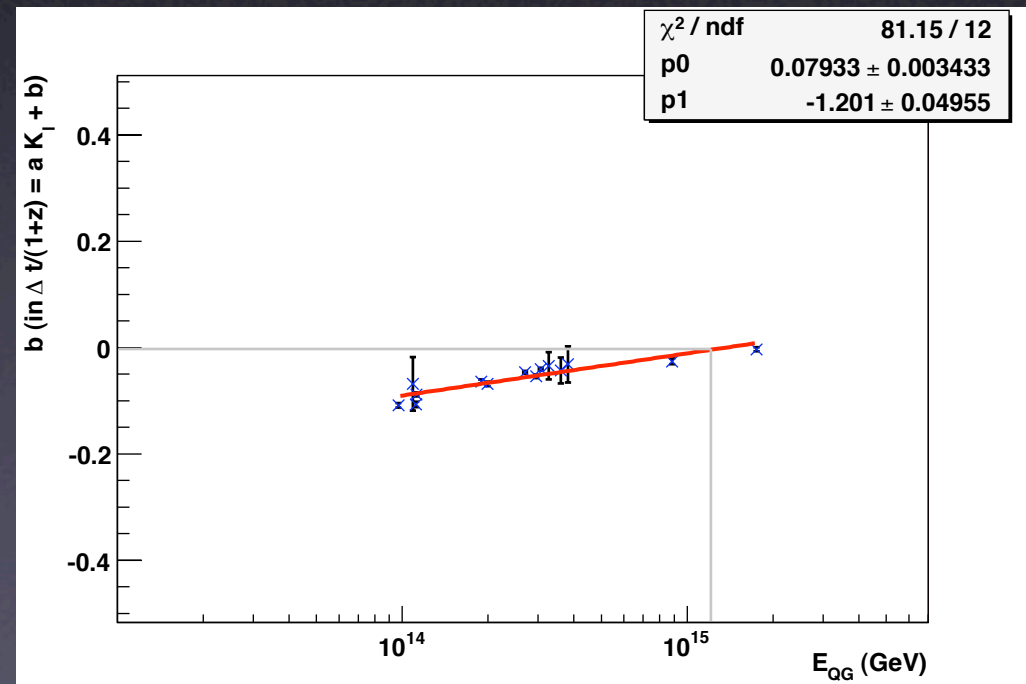
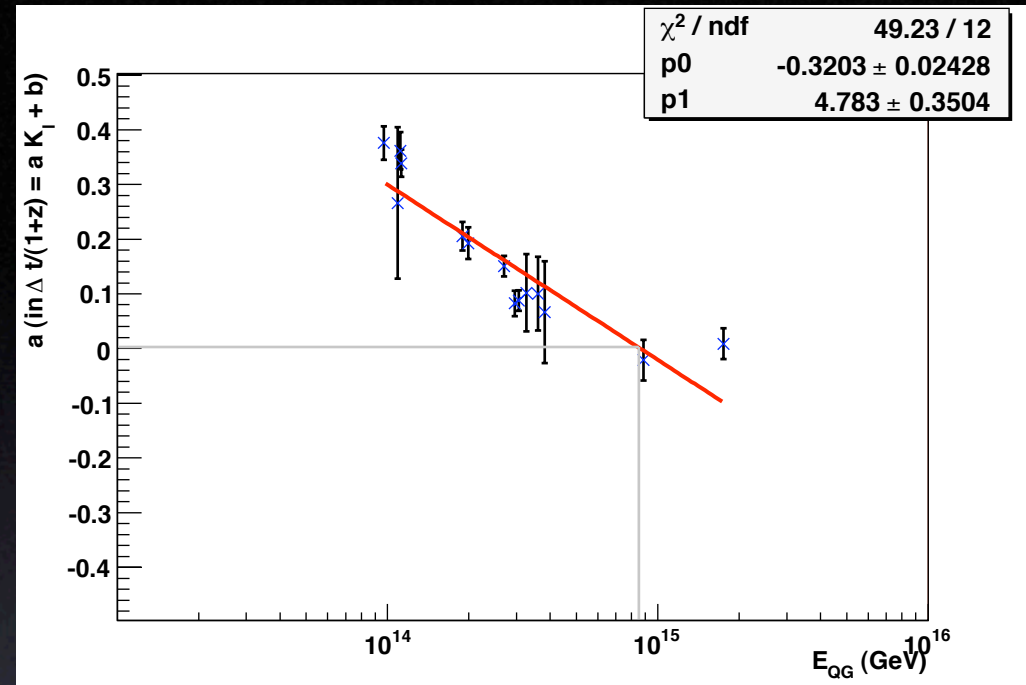
Maxima



Résultats (2)



Minima



Résultat (2)

Limites à 95% CL
(en GeV)

En rouge :
Scénarios où χ^2
présente un
minimum
marqué

	Maxima	Minima
#1	2.1×10^{14}	1.7×10^{15}
#2	7.6×10^{14}	3.3×10^{14}
#3	1.7×10^{15}	3.6×10^{14}
#4	5.1×10^{14}	8.9×10^{14}
#5	1.2×10^{15}	3.1×10^{14}
#6	1.5×10^{15}	2.0×10^{14}
#7	3.6×10^{14}	1.1×10^{14}
#8	9.1×10^{16}	9.7×10^{13}
#9	1.1×10^{15}	3.0×10^{14}
#10	2.5×10^{16}	1.9×10^{14}
#11	3.5×10^{15}	3.8×10^{14}
#12	6.3×10^{14}	2.7×10^{14}
#13	7.5×10^{14}	1.1×10^{14}
#14	3.4×10^{14}	1.1×10^{14}

Conclusions

- Comportement différents des minima et des maxima
- Pour les maxima
 - Presque tous les scénarios ne montrent pas d'effet significatif
 - Limite inférieure attendue pour $a \sim 0$ (valeur attendue en absence d'effet de QG)

$$\rightarrow E_{\text{QG}} > 10^{15} \text{ GeV}$$

- Pour les minima
 - 12 scénarios sur 14 présentent un effet significatif
 - Minimum du χ^2 localisé dans un domaine

$$M = 10^{14} - 10^{15} \text{ GeV}$$

→ Article en préparation

Conclusion générale

Détection des gamma dans l'expérience AMS

- AMS-02 sera capable de
 - détecter des sources astrophysiques galactiques et extragalactiques (Blazars, pulsars)
 - ~500 photons/an pour Vela (Calotte polaire)
 - ~600 photons/an pour Vela (Cavité externe)
 - Placer des limites sur plusieurs modèles SUSY, dans des conditions astrophysiques favorables
- Publication [astro-ph/0508349](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0508349)

Analyse des sursauts gamma observés par la mission HETE-2

- En considérant un modèle issu de la théorie des cordes
- En se limitant au cas linéaire
 - Limite inférieure sur l'échelle de QG autour de 10^{15} GeV
 - Valeur préférée pour les minima 10^{14} - 10^{15} GeV
- Publication en préparation

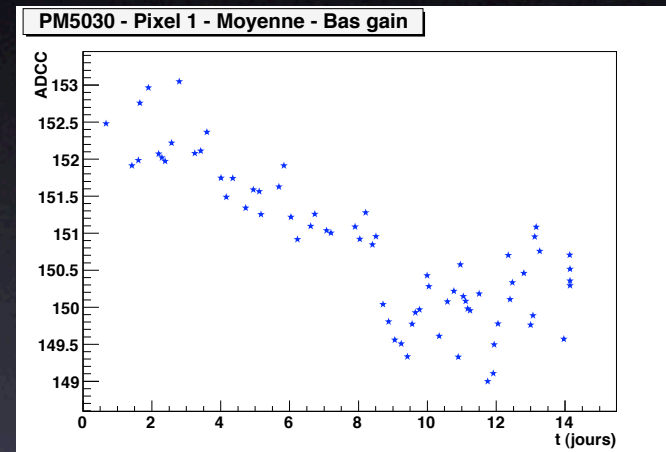
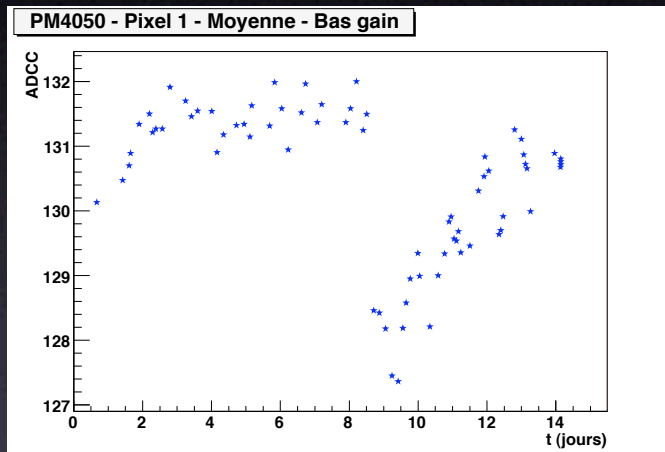
Perspectives

- Simulation rapide
 - Optimisations des analyses → nouvelles acceptances
 - Prédiction avec quelques sources HESS
 - Prédiction pour les sursauts gamma
 - Connexion avec les outils d'analyse de sources
- Recherche d'un effet de gravitation quantique
 - Optimiser les coupures (dérivée, bruit)
 - Ajouter des scénarios
 - Si possible, ajouter des données !

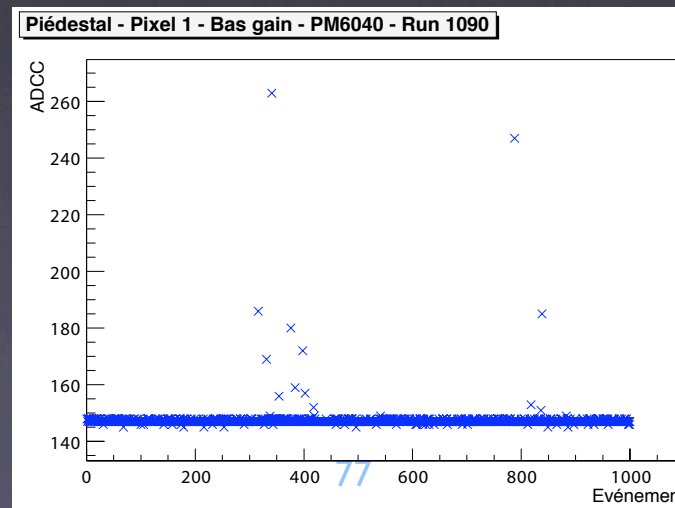
Bonus

Stabilité du piédestal

- Effet du BDR
- Effet de la coupure des alimentations au jour 8.5

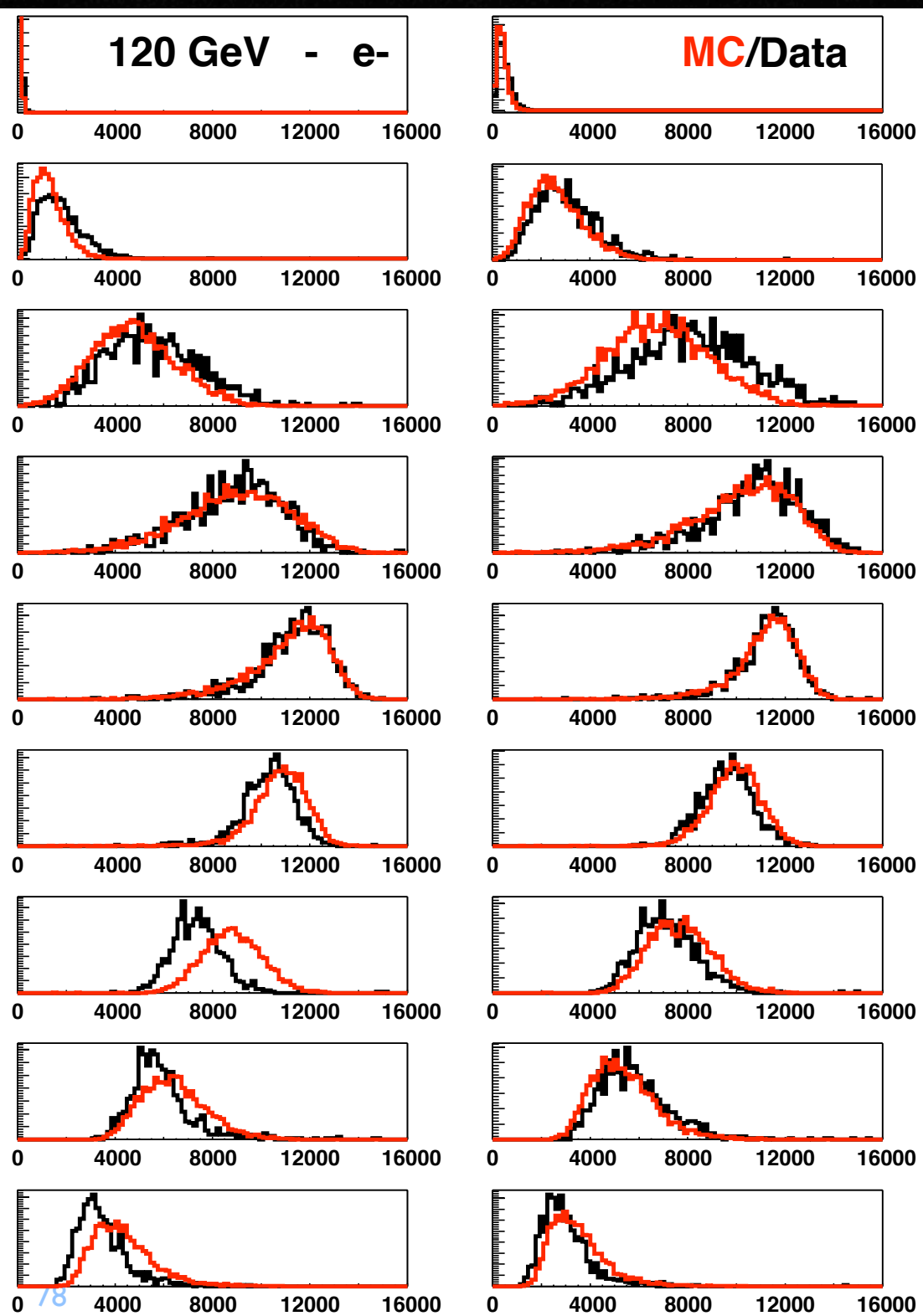
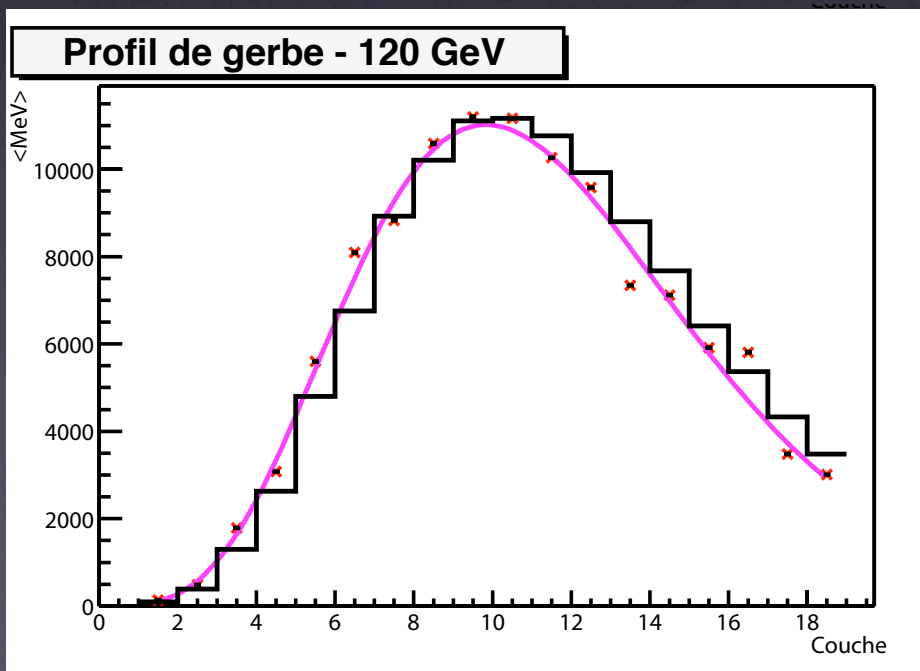


- Effet du faisceau (mise à la masse ?)



Comparaison MC/données

e^- à 120 GeV



Mode Conversion

- On demande
 - 2 traces de charges opposées, vertex commun, faible masse invariante
 - direction initiale passe par le TRD

Mode photon unique

- Système de déclenchement autonome du ECAL
- On demande
 - Une seule gerbe électromagnétique
 - Aucun signal dans les autres sous-détecteurs
- ECAL limité à basse énergie par la réjection

Fonds

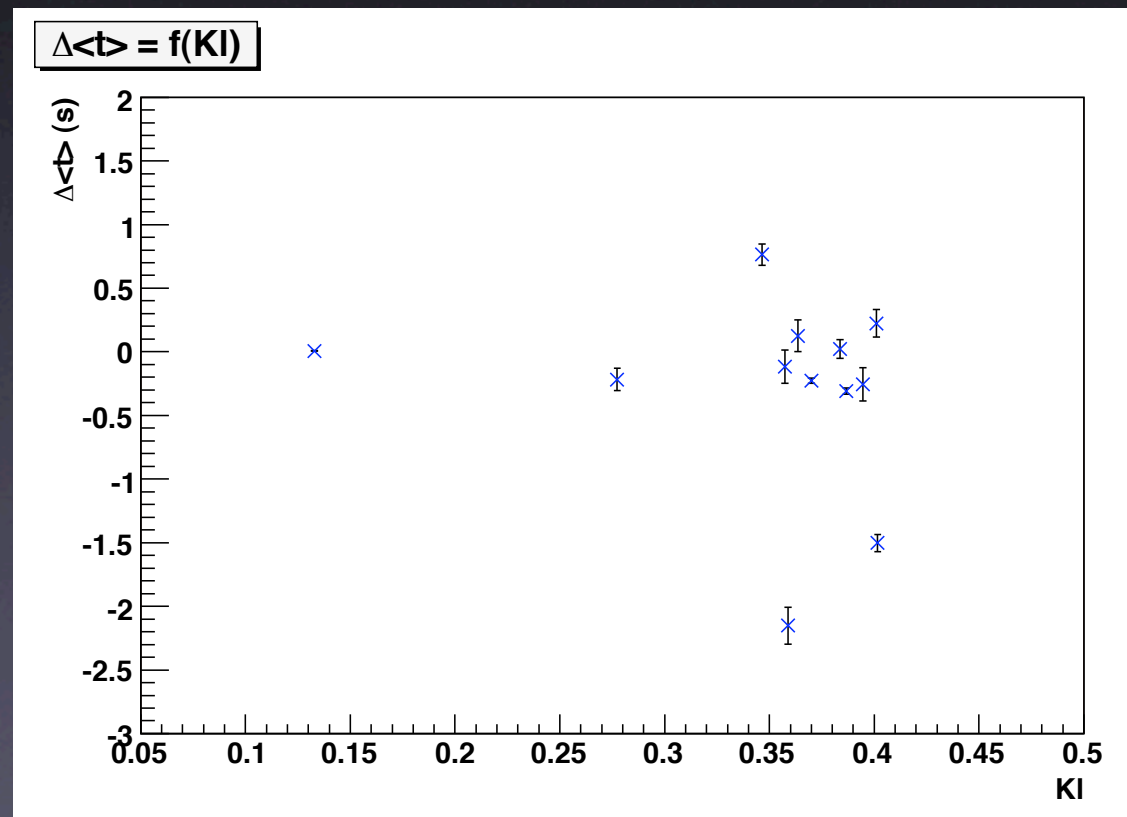
- ECAL
 - particules chargées passant par les côtés ou dans les espaces morts sans être détectée
- STD
 - protons et e^- interagissant avec AMS est créant des secondaires qui peuvent créer des doubles traces et mimer des paires e^+e^-

AMS-02 et les sursauts gamma

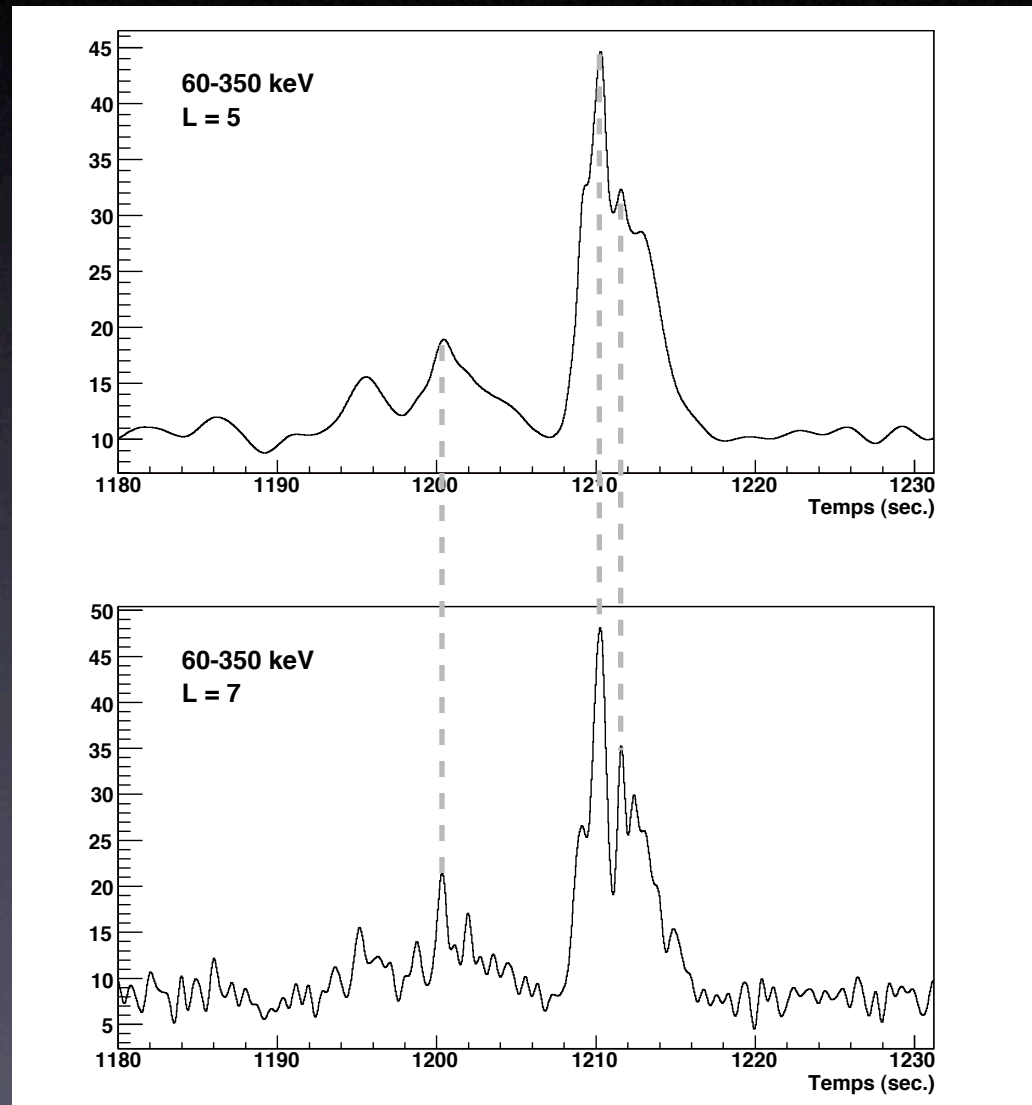
- Gamme d'énergie : 1-300 GeV
- Extrapolation des spectres EGRET pour les GRB les plus brillants → quelques GRB/an dans AMS-02
- A étudier
 - Optimisation des sélection à basse énergie
 - Observations lors des alertes
 - Modélisation à haute énergie (émission prompt + afterglow)

Pourquoi l'analyse en ondelettes ?

- Outil adapté à l'étude des signaux non-stationnaires.
- Une étude statistique sur les données photon par photon ne montre aucune corrélation entre $\Delta\langle t \rangle$ et K_I .



Effet du niveau de décomposition (DWT)



Merci !