



# Étude des GRBs avec AMS



**Julien Bolmont**

Groupe d' Astroparticules de Montpellier

Directeur de thèse : A. Falvard



# Préparation d'étude des GRBs avec AMS

---

## → Le sujet d'étude : les sursauts gamma

- Données observationnelles
- Origine(s)
- Ce qu'ils peuvent nous apprendre

## → AMS-02 : un détecteur de particules sur l'ISS

- Caractéristiques
- ECAL, calorimètre électromagnétique
- Le trigger gamma
- GPS

## → Analyse :

- Les performances d'ECAL
- Simulation rapide d'AMS
- Amélioration de l'acceptance à basse énergie



# Les sursauts gamma

→ Le phénomène le plus violent de l'Univers observable !

→ Un sursaut gamma libère une énergie de  $\sim 10^{54}$  ergs en quelques dizaines de secondes !

À comparer à :

- $\sim 10^{51}$  ergs pour les AGN
- $\sim 10^{45}$  ergs pour les SN

1 erg  $\sim$  0.6 TeV

→ Une émission en deux temps :

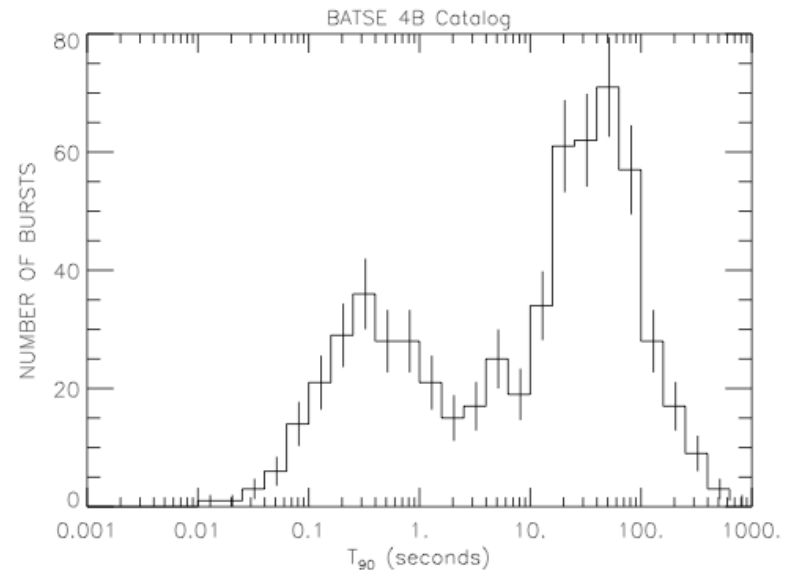
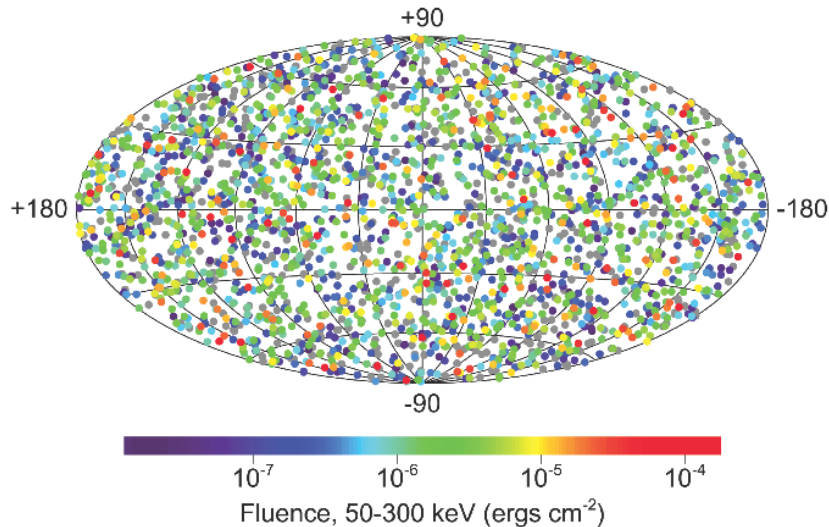
- L'émission prompt se fait principalement sous forme de  $\gamma$
- L'émission retardée (ou *afterglow*) s'étale du domaine  $\gamma$  au domaine radio



# Les sursauts gamma : observations

- Première observation en juillet 1967 : Satellites VELA
- En 9 ans, BATSE (1991) observe plus de 2700 GRBs
  - Répartition isotrope sur la voûte céleste
  - Deux populations de sursauts selon leur durée

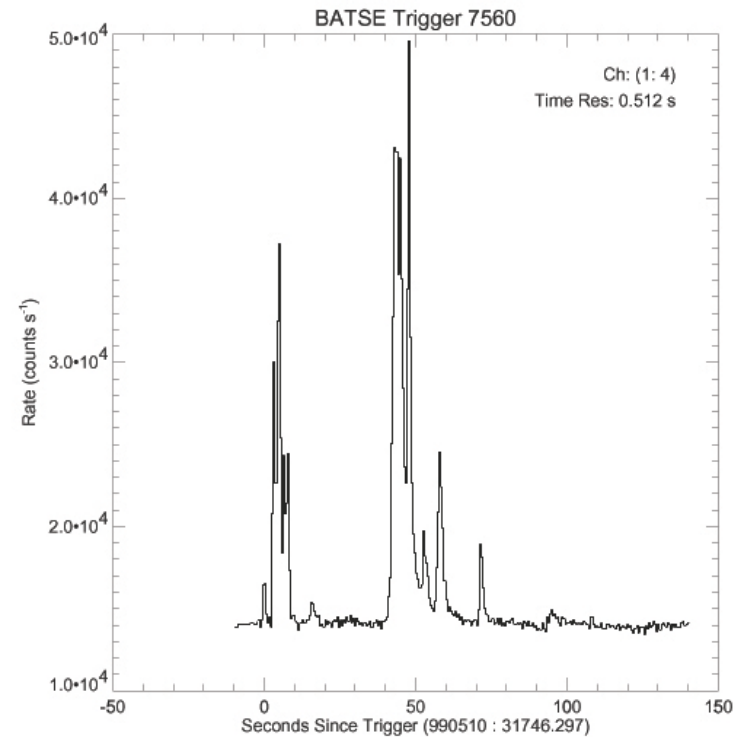
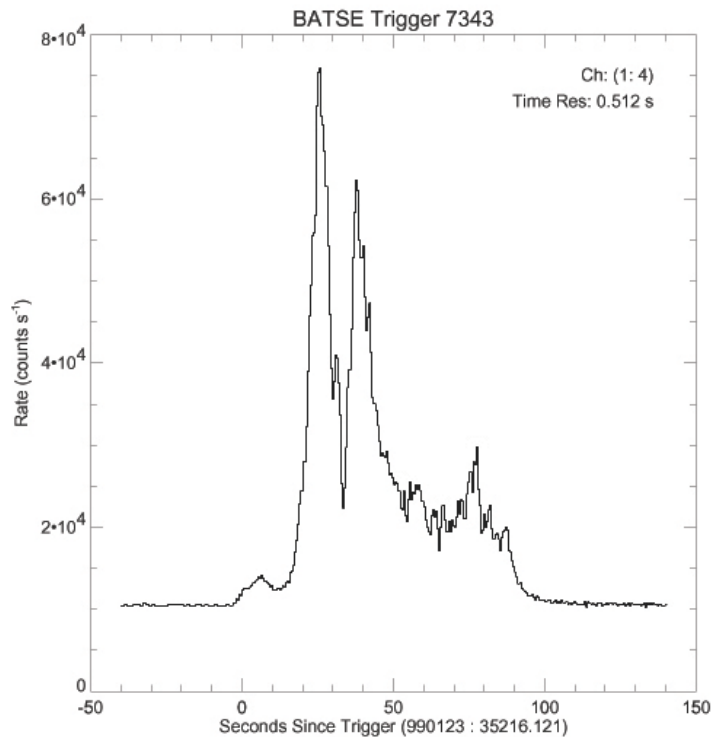
## 2704 BATSE Gamma-Ray Bursts





# Les sursauts gamma : observations

- Les courbes de luminosité sont très variées
- Structures en pics d'émission





# Les sursauts gamma : modèles

---

- Deux modèles principaux concurrents qui séparément ne peuvent expliquer toutes les observations
- Les deux font intervenir un « moteur central » de nature inconnue :
  - Coalescences d'étoiles massives ?
  - Trou noir avec accrétion importante ?
- En mars 2003, une supernova et un GRB sont observés à la même position



# Les sursauts gamma : modèles

---

→ Exemple du modèle *fireball*

→ Scénario en quatre étapes :

- Injection d'énergie par le moteur central
- Vent relativiste collimé avec facteur de Lorentz très élevé ( $\sim 100$ )
- Emission prompte de  $\gamma$  par chocs internes
- Emission retardée (*afterglow*) quand le vent relativiste entre en collision avec le milieu interstellaire et intergalactique



# Les sursauts gamma : modèles

---

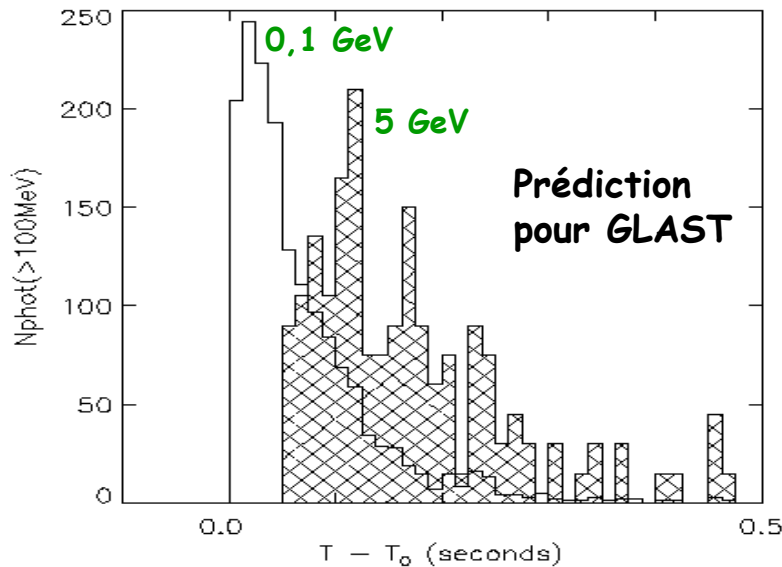
QuickTime™ et un  
décompresseur Photo  
sont requis pour visionner cette image.

Le cœur de l'étoile s'effondre et le trou noir  
ainsi formé commence à éjecter de la matière



# Intérêts d'observer les GRBs

→ Les GRBs sont des sources très lointaines ( $0.1 < z < 4.5$  et +) et très intenses !



→ Ils peuvent par exemple nous permettre de :

- Sonder le milieu intergalactique
- Signaler les galaxies à très grande distance
- Tester la théorie de la gravitation quantique
- Rayons cosmiques d'ultra-haute énergie
- ...

$$\Delta t \sim \Delta E \times L(\text{distance}) \times (E_{\text{PLANCK}}/E_{\text{QG}})$$

$$E_{\text{PLANCK}} \sim 10^{19} \text{ GeV} \text{ et } E_{\text{QG}} \sim 10^{16-18} \text{ GeV}$$



# AMS : Alpha Magnetic Spectrometer

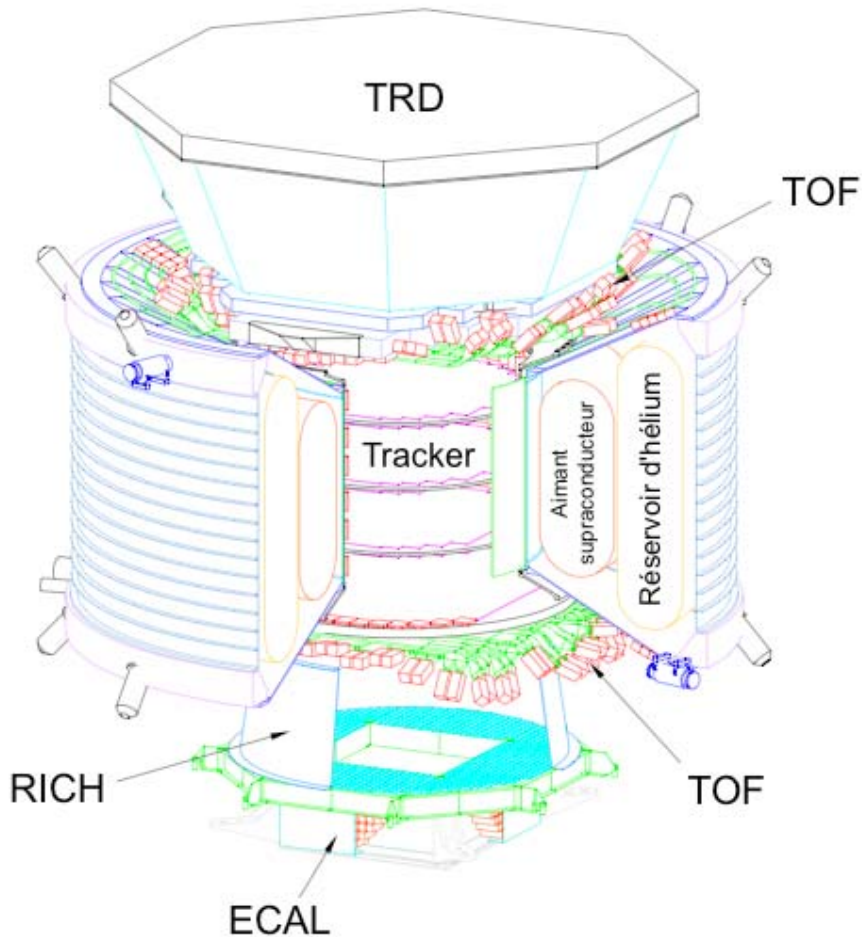
---

- AMS volera pendant 3 ans sur la Station Spatiale Internationale
- Lancement prévu en mars 2007





# AMS : objectifs



- Recherche d'antimatière
- Recherche de matière noire
- Étude des rayons cosmiques
- Observation des  $\gamma$  de haute énergie
- Masse totale : 4981 kg



# ECAL : Calorimètre électromagnétique

## → Calorimètre de type SPACAL :

- Radiateur : plomb
- Partie active : fibres scintillantes

## → Dimensions : 65 x 65 x 17 cm

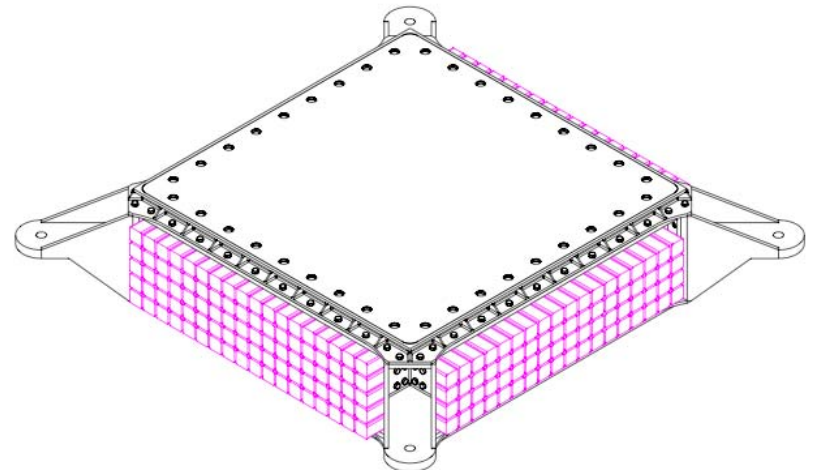
## → Masse : 638 kg

## → 324 photomultiplicateurs 4 anodes

→ 1296 canaux

## → Objectifs :

- Mesurer l'énergie des  $\gamma/e^-$
- Identifier les électrons





# Le trigger $\gamma$

→ Élément essentiel de la chaîne de détection !

→ ECAL dispose de son propre trigger :

- Signal de dynode très rapide ( $< 200$  ns)
- Energie de seuil initialement de  $\sim 8$  GeV
- Pour mieux étudier les sources : diminution du seuil à  $\sim 2$  GeV

→ Efficacités (angle d'incidence entre 0 et  $10^\circ$ ):

- $\sim 30\%$  à 1 GeV
- $\sim 90\%$  à 2 GeV
- $> 97\%$  pour  $E > 2$  GeV



# Observer les GRBs avec ECAL

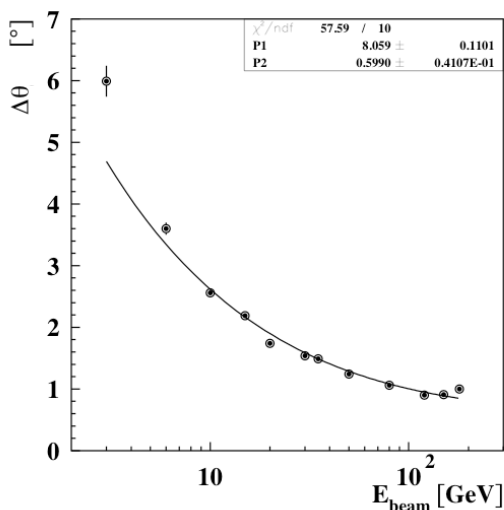
---

- Les performances d'ECAL
- Un GPS spatial pour AMS
- Simulation rapide
- Optimisation de la détection des  $\gamma$

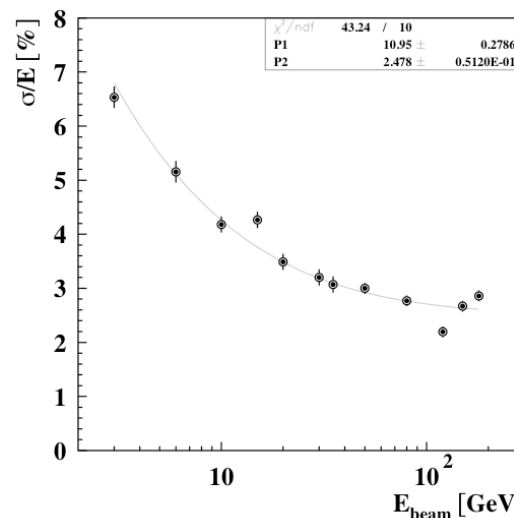


# Les performances d'ECAL

- Juillet 2002 : test sur faisceau au CERN
- Détermination de (résultats préliminaires):
- Résolution en énergie, en angle
  - Longueur de radiation :  $\lambda_0 = 1.02 \pm 0.01$  cm



$$\Delta\theta = \frac{(8.1 \pm 0.1)}{\sqrt{E \text{ (GeV)}}} \oplus (0.60 \pm 0.04)^\circ$$



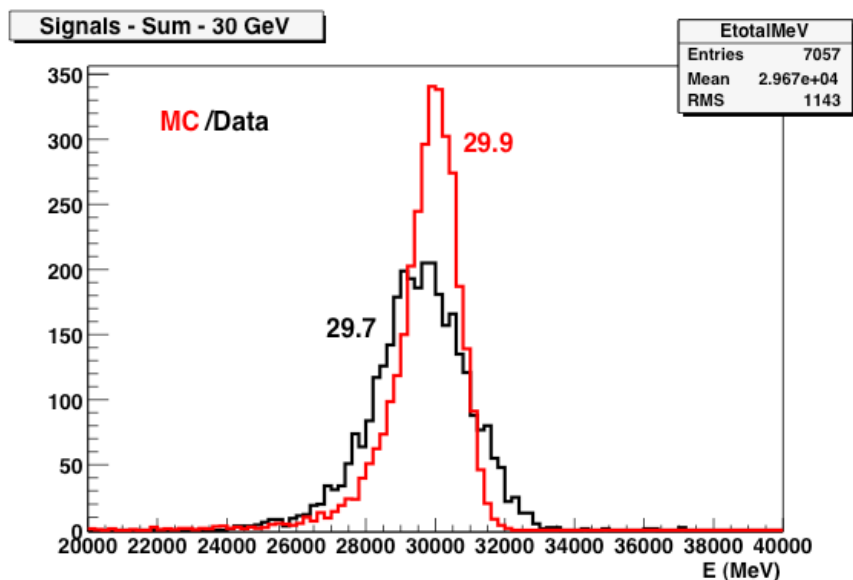
$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{(10.95 \pm 0.3)}{\sqrt{E \text{ (GeV)}}} \oplus (2.48 \pm 0.05)\%$$



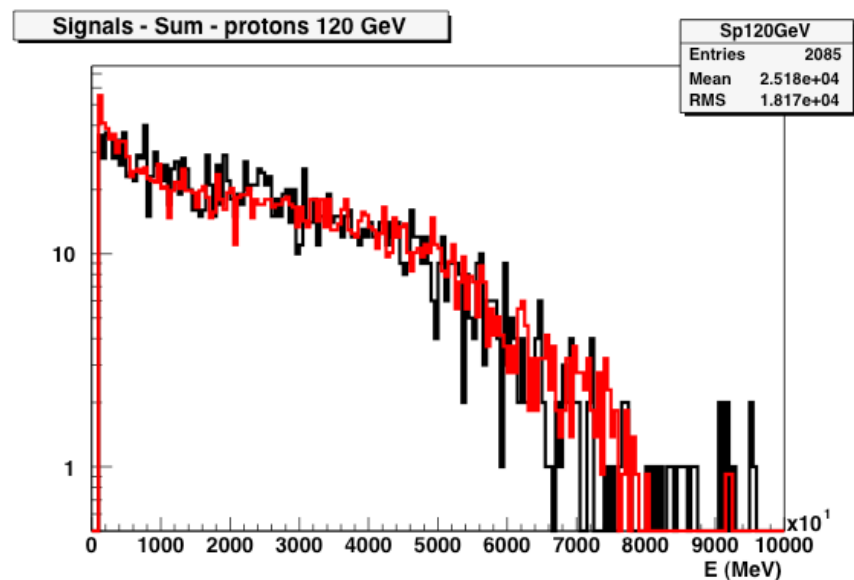


# Les performances d'ECAL

- Comparaison des données du test et de la simulation Monte Carlo
- Divergences à expliquer... (en cours)



Energie reconstruite pour un faisceau d'électrons à 30 GeV



Energie reconstruite pour un faisceau de protons à 120 GeV





# Un GPS spatial pour AMS

## Perspectives

→ Pour tester la gravitation quantique :

→ Nécessité d'une bonne précision temporelle

→ Apports du GPS :

- Il fournit la position, la vitesse, le temps UTC
- Il permet une précision temporelle de 1  $\mu$ s

→ Intéressant pour l'étude des sources variables :

→ GRBs, Pulsars, Noyaux actifs de galaxies...

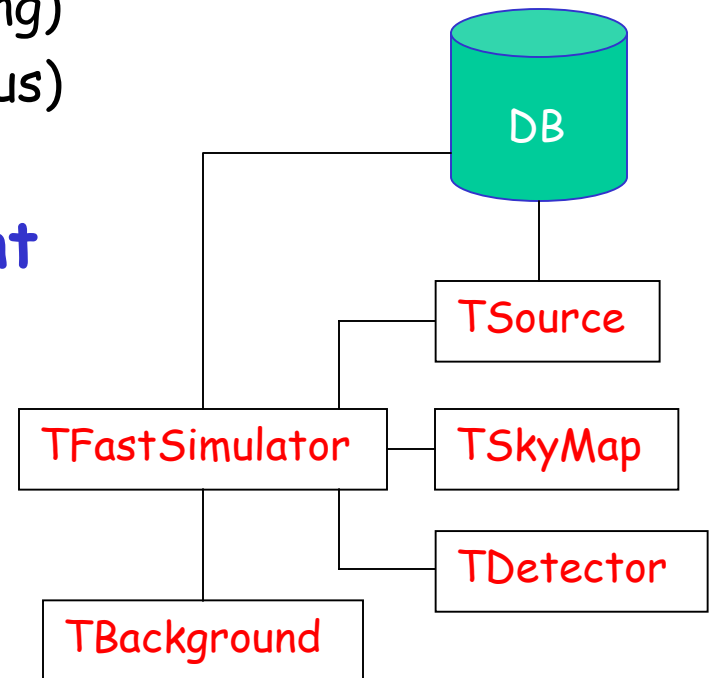
→ Points à vérifier :

- Tests du module GPS dans le champ magnétique de fuite de l'aimant du tracker
- Tests d'implantation dans AMS-02

# Simulation rapide - Sources

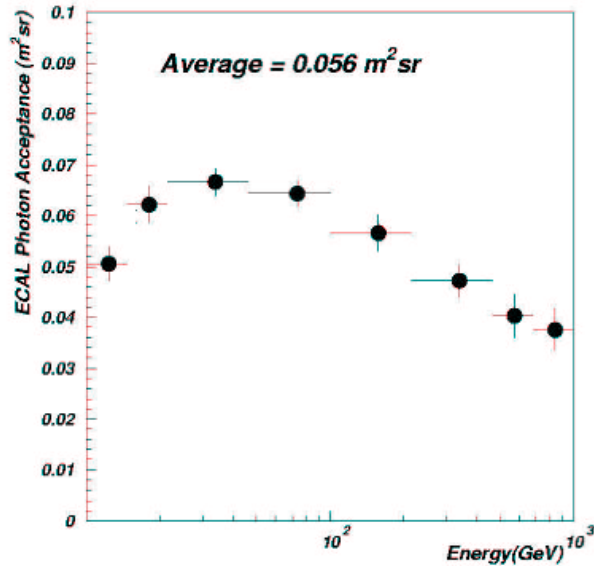
## Perspectives

- Paramétrisation du détecteur pour évaluer ses performances
  - Détection des sources ponctuelles
  - Détection des GRBs (spectre, timing)
  - Evaluer  $\text{Signal}(\text{source})/\text{Signal}(\text{diffus})$
- Développement objet d'une application dans l'environnement ROOT.

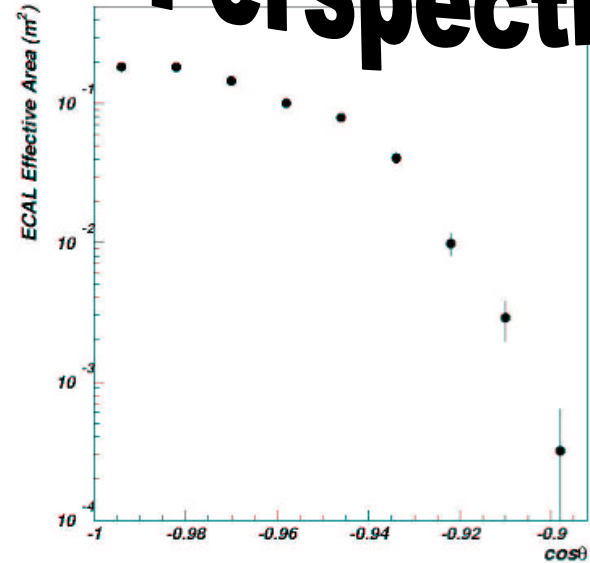


# Optimisation de la détection des $\gamma$

## Perspectives



Acceptance en fonction de l'énergie

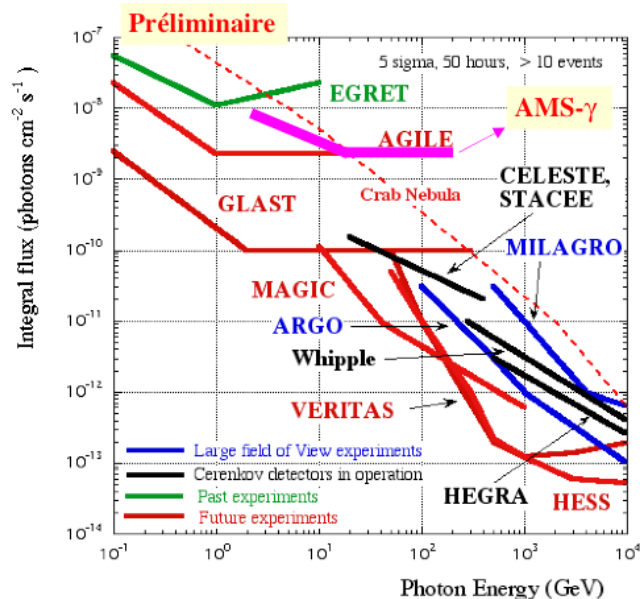


Surface effective en fonction de l'angle d'incidence

- Actuellement, l'acceptance étudiée pour les  $\gamma$  diffus
- L'analyse n'est pas optimisée à basse énergie  
(Pour  $E(\gamma) < 5 \text{ GeV}$ , la discrimination du fond proton réduit les efficacités)

# Optimisation de la détection des $\gamma$

## Perspectives



→ Exemples (GRBs brillants):

- GRB950503 :  $\sim 30 \gamma > 1 \text{ GeV}$
- GRB930131 :  $\sim 5 \gamma > 1 \text{ GeV}$

→ Extrapolation BATSE :  
 $\sim 1 \text{ GRB/an}$

Sensibilité d'AMS $\gamma$  pour 1 an d'opération

→ A faire :

- Optimisation de la sélection à basse énergie
- Modélisation à haute énergie (émission prompte et *afterglow*)

→ Quelques GRBs attendus par an avec AMS



# Conclusions

---

- Les sursauts gamma sont des sources intéressantes à bien des points de vue
- Leur étude optimale avec AMS demande à approfondir certains points :
  - Performances du calorimètre
  - Ajout d'un GPS spatial
  - Optimisation de la détection des  $\gamma$