



Une année de prise de données avec l'imageur CAT

B – Signature des muons dans l'imageur CAT

K. Ragan³, D. A. Smith
Collaboration CAT

L'imageur CAT est sensible à la lumière Tcherenkov émise par les particules chargées dans l'atmosphère, et donc aux muons dont le flux est considérable. La compréhension des événements à μ aidera à étalonner la réponse de l'appareillage par rapport à une quantité de lumière connue et à comprendre le bruit de fond que représentent les muons lors de la recherche des signaux gamma.

The CAT imaging telescope is sensitive to the Cherenkov light emitted by charged particles in the atmosphere, and thus is sensitive to a substantial flux of hard ($E \geq 5$ GeV) muons. A detailed study of these events will help to both calibrate the instrument and to understand the background that they represent in the search for gamma-ray showers.

Introduction

Les télescopes Tcherenkov étudient les rayonnements γ des objets célestes en observant la lumière Tcherenkov émise dans les interactions des γ avec l'atmosphère. De ce fait, ils deviennent aussi sensibles aux muons tombant près du télescope. Une étude menée avant le démarrage de CAT en septembre 1996 nous laissait attendre un taux de déclenchements dû aux muons de ≈ 40 Hz. En fait, dans les conditions de déclenchement prévues, nous n'observons que ≈ 15 Hz comme taux total. Il est ainsi évident que notre compréhension du détecteur n'est pas totale, et que la reconstruction des images à muons est susceptible d'apporter un complément d'information. En particulier, une meilleure connaissance des systématiques reliées à la soustraction du bruit de fond des muons mènera à une amélioration de la sensibilité du télescope. Parallèlement, un meilleur étalonnage réduira l'incertitude sur l'énergie observée.

Un télescope focalise la lumière venant d'une certaine direction à un certain point dans le plan focal; ainsi est-il aisé de voir que l'image d'une particule telle un muon, émettant de la lumière Cherenkov à un angle fixe par rapport à sa trajectoire, est bien un arc de cercle. L'arc décrit un angle azimuthal qui est celui du miroir du télescope vu depuis la trajectoire du μ ; c'est-à-dire qu'un muon tombant à la verticale et arrivant dans le miroir serait vu comme un cercle complet alors qu'un muon tombant au bord du miroir formerait un demi-cercle. Pour les muons tombant en dehors du miroir (toujours à la verticale), l'angle azimuthal que décrit l'arc est donné par:

$$\phi = 2 \sin^{-1}(R/\rho)$$

où ρ est la distance entre le point d'impact du muon et le centre du miroir, et R est le rayon du miroir. La distribution de lumière le long de l'arc n'est pas uniforme, mais varie aussi en fonction de l'angle azimuthal et de ρ :

$$\frac{dN}{d\phi} \approx \begin{cases} \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R} \sin \phi\right)^2} + \frac{\rho}{R} \cos \phi & \text{pour } \rho \leq R, 0 < \phi < 2\pi \\ 2\sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R} \sin \phi\right)^2} & \text{pour } \rho > R, |\phi| < \sin^{-1}(R/\rho) \end{cases}$$

où N est le nombre de photoélectrons.

Une particule de $\beta=v/c=1$ à l'altitude de Thémis a un angle Cherenkov $\theta_c \approx 0,021$ (21 mrad); le nombre de pixels touchés dans la caméra de CAT serait alors:

$$N_{\text{pix}} \approx 21\phi/2 \approx 21 \sin^{-1}(R/\rho)$$

d'où le danger au niveau du déclenchement: un muon tombant à $\rho/R = 5$ (à 12 m du miroir!) peut toucher 4 pixels et déclencher l'appareillage. Ces muons représentent un bruit de fond irréductible à notre recherche d'image γ . Pour l'instant ce bruit de fond reste mal connu; une reconstruction des muons tombant plus près de l'imageur (et donc formant des arcs plus grands et plus facilement reconnaissables) permettra d'en calculer le taux *ab initio*.

³ Visiteur au CENBG; McGill University, Montreal, Canada

Reconstruction des images à muon

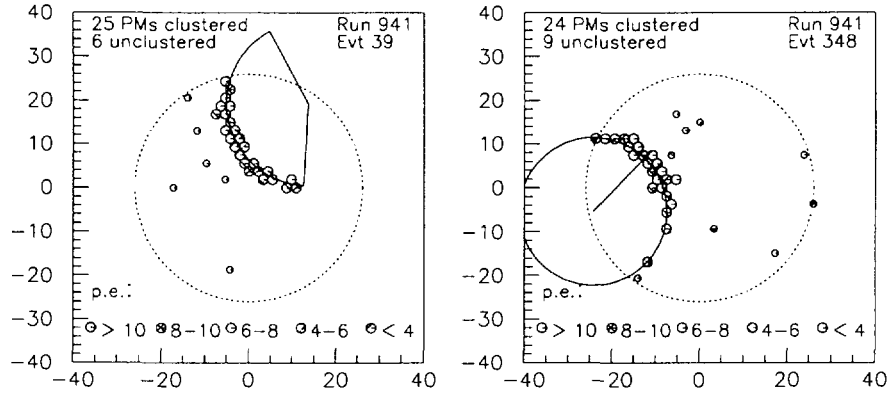
Nous avons mis au point un procédé de reconstruction des images à muons qui ajuste un cercle sur les pixels touchés dans la caméra, tout en tenant compte du paramètre d'impact du muon (information contenue dans la longueur d'arc) et de la distribution $dN/d\phi$, et en incorporant un paramètre r qui est le rapport entre le nombre de photoélectrons observés (détectés) et le nombre attendu d'après la géométrie de l'anneau.

La figure 1 montre le résultat du fit sur deux événements réels.

Figure 1 : événements ADC de l'imageur, montrant les pixels touchés dans la caméra et le résultat du fit (arc en trait plein). Le cercle en pointillé montre la limite de la caméra. Événement de gauche :

$\rho/R=1,04$, $r=1,03$,
probabilité 0,92 ;

événement de droite :
 $\rho/R=0,70$, $r=0,98$, probabilité 0,53.



La figure 2 montre les résultats du fit sur un échantillon de données simulées, y compris une description détaillée de l'imageur (optique, électronique, déclenchement). On voit que la reconstruction est précise, avec une largeur de 0,15 pour la quantité ρ/R et de $\approx 0,6$ mrad pour l'angle Cherenkov θ_c . A la figure 3 on voit la distribution du paramètre r , correctement centrée à 1,0 (c'est-à-dire que le modèle utilisé dans le fit correspond bien à ce qu'on voit en tenant compte au mieux de notre connaissance de l'appareillage).

Nous avons utilisé ces simulations pour définir un certain nombre de critères de reconstruction (nombre de pixels minimum, convergence, χ^2 , plage acceptée en ρ/R et en θ_c). En acceptant les événements qui les satisfont, on remarque que l'efficacité de la procédure est acceptable (à peu près 34%) pour $\rho/R < 2,5$ et $10 < \theta_c < 25$ mrad. Cette zone constitue donc une bonne base pour extrapoler le nombre de muons reconstruits dans les données réelles au taux total de déclenchements dus aux muons.

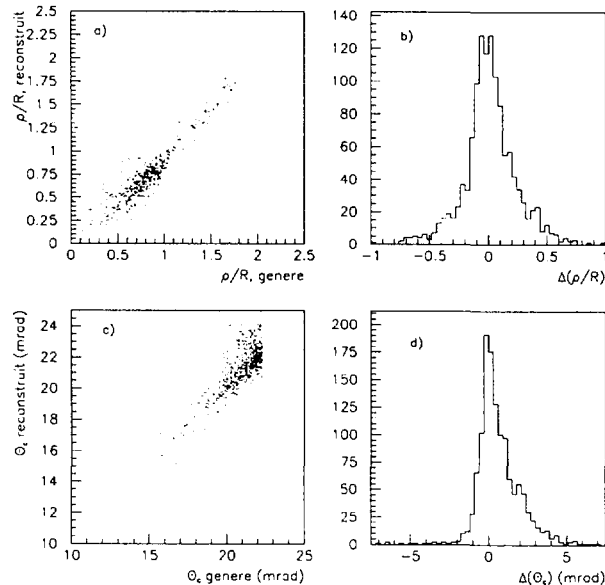
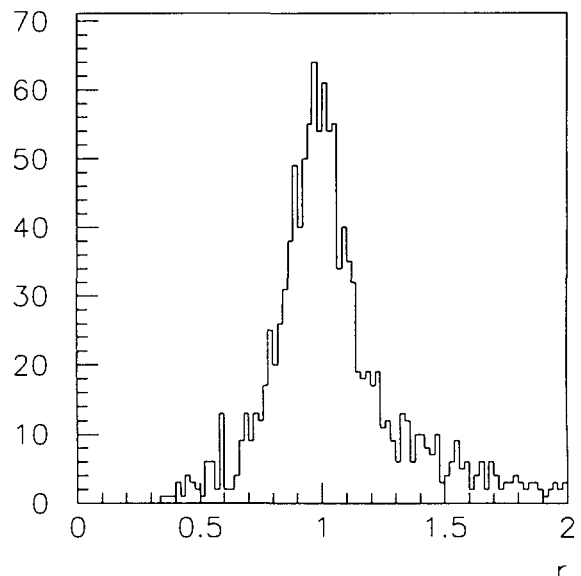


Figure 3 : résultats de la reconstruction sur événement simulés. Le paramètre r est le rapport entre le nombre de photoélectrons observés (détectés) et le nombre attendu d'après la géométrie de l'anneau.

Figure 2 : résultats de la reconstruction sur événements simulés. a) valeur de ρ/R reconstruite en fonction de la valeur générée ; b) $\Delta(\rho/R)$ (différence entre valeur reconstruite et valeur générée) ; c) valeur de θ_c reconstruite en fonction de la valeur générée ; d) $\Delta(\theta_c)$.



Parallèlement à l'effort de reconstruction, nous avons mis en opération deux détecteurs de muons. Chacun d'eux est composé d'un bidon hermétiquement fermé contenant deux PMs rapides pour détecter la lumière Cherenkov émise localement. La coïncidence des deux PM signale le passage d'une particule à seuil supérieure au seuil

Cherenkov ($\gamma \geq 40$ à Thémis) et donne un signal qui est enregistré avec les données de l'imageur. L'un des détecteurs est monté sur le télescope de l'imageur à $\rho/R = 0,32$ (voir figure 4) et l'autre est à côté et peut être déplacé afin de prendre des données à différentes valeurs de ρ/R . L'usage des runs spéciaux où les images de CAT seront étiquetées de la réponse des bidons donnera une calibration absolue de notre simulation.

Nous sommes donc en bonne position pour appliquer cette analyse à des données de l'imageur et étudier réellement la quantité de lumière collectée ainsi que le taux de muons observé.

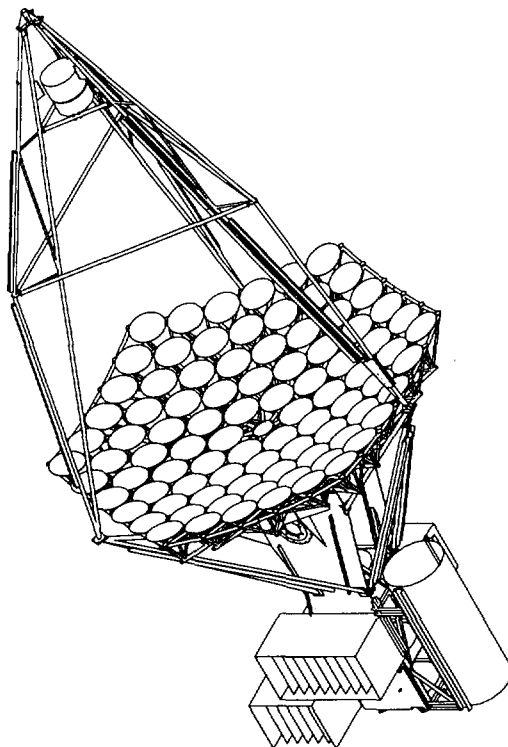


Figure 4 : schéma de l'imageur avec le détecteur à muons (bidon cylindrique) monté derrière le miroir, à côté des châssis d'électronique