



Étude d'une TPC, cible active pour la polarimétrie et l'astronomie gamma par création de paire dans HARPO

Shaobo WANG

#### LLR, École polytechnique

Directeur de thèse : Denis Bernard(LLR)





### Sommaire:

- Introduction
- Le projet HARPO
- Reconstruction d'événements
- Le filtre de Kalman
- Prise de données en faisceau
- Conclusion et perspectives







#### Introduction

#### • L'astronomie gamma :

L'étude de l'émission non-thermique des objets tels que AGN (Active Galactic Nuclei), GRB (Gamma-Ray Bursts) et les pulsars.

#### • Polarisation

Un diagnostic puissant de la compréhension de la physique de ces sources.

#### Télescopes

- La résolution angulaire des télescopes à création de paire à basse énergie est mauvaise.

- Non polarimétrie au dessus du MeV.



- Introduction
- <u>Le projet HARPO</u>
- Reconstruction d'événements
- Le filtre de Kalman
- Prise de données en faisceau
- Conclusion et perspectives





# Le projet HARPO

Shaobo WANG

#### – –Hermetic ARgon POlarimeter

Caractérisation de:

- La technologie TPC comme télescope de haute résolution angulaire et sensibilité.
- Comme polarimètre pour l'étude de sources cosmiques de rayons γ au dessus du MeV.

#### **Performance attendue:**

- \* Résolution Angulaire:
  - Limité par la diffusion multiple au dessus de 100MeV
  - Limité par le recul inconnu noyau dynamique au dessous 100MeV
- \* Jusqu'à un ordre de grandeur mieux que Fermi!

0 (degrees) 10<sup>3</sup>  $\sigma_{\theta}$  (mrad) unobserved (68% containment)  $(E^{-5/4})$  $10^{2}$ Fermi (front evts)  $(E^{-0.78})$ 10 **Multiple scattering** 0.11 Ar 10 bar  $(E^{-3/4})$ 10<sup>4</sup>  $10^{2}$  $10^{3}$ 10 1 E (MeV)



2014-12-11

# Le détecteur HARPO

•1•

Shaobo WANG

- TPC cubique 30cm
- Le trigger :Scintillateurs, PM(PhotoMultiplier)
- Amplification : Micromegas (Micro-Mesh Gaseous Structure)
   et GEM(Gas Electron Multiplier)
- 2 séries de strips (x ,y)
- Numérisé: chip AFTER avec 288 canaux et 511 bins en temps .



# **HARPO** Time Projection Chamber (TPC)











 γ sont convertis dans le gaz, électrons et positrons produits ionisent le gaz







• Électrons d'ionisation dérivent selon le champ E







• Électrons d'ionisation dérivent selon le champ E







• Électrons d'ionisation dérivent selon le champ E













 Électrons sont amplifiés et mesurés sur le plan x/yreadout







 Temps donne une mesure de z, z=v(t-t0)

#### 2014-12-11



### Amplification : micromegas + GEM

• Principe : avalanches

Micromegas (Micro-Mesh Gaseous Structure) : ions





**GEM(Gas Electron Multiplier) :** électrons

2014-12-11

Shaobo WANG



#### Test d'un assemblage micromegas+2GEMs





# Test configuration

- Plexiglas test box
- 1bar Ar:isobutane (95:5)
- Source <sup>55</sup>Fe
- 5.9 keV de rayons X permet d'ioniser dans l'une des 3 régions







#### Spectre mesuré





UR

- Introduction
- Le projet HARPO
- <u>Reconstruction d'événements</u>
- Le filtre de Kalman
- Prise de données en faisceau
- Conclusion et perspectives



# Reconstruction d'événement

- Calcul des bruits cohérents
- Thresholding
- Clustering
- Reconstruction de trace
  1) Pattern recognition
  - 2) Matching x/y
  - 3) Reconstruction 3D





# Sélection des pixels avec signal

#### Run122 evt 14 carte Y





- Piédestaux par canal égalisés (à Q<sub>0</sub> = 250) en début de run.
- Bruit cohérent :

Moyenne  $Q_m(t)$  par bin de temps après coupe à  $Q - Q_0 > 50$ .

 Sélection de pixels touchés : Q-Qm(t)>50





# Clustering

- Les Clusters sont des groupes de pixels successifs sélectionnés.
- Clustering :
   en temps:Tcluster
   en canal:Ccluster







2014-12-11

Shaobo WANG



# Reconstruction en 2d

#### – – Hough Combinatoire





50

200

300

100

2014-12-11

### **Reconstruction en 3d**



50

0

200

100

300

400 500

t[bin]

400 500

t[bin]



- Matching x/y :
  - Association des traces Trx,i ↔ Try ,j
  - Comparaison des spectres temporels de charge
- Reconstruction 3d :
  - Temps(z) donné :Association (z,x) et (z,y) (x, y,z)
    - Pour chaque trace :
    - Le point entre et sortie :  $P_e$  et  $P_s$
    - Le vecteur de trace :  $\vec{u} = \frac{\overline{P_e P_s}}{L}$
    - La longueur droite de trace :  $L = |\overline{P_e P_s}|$

 Le vertex de chaque 2 traces dans les evts avec multi-traces.



### Vertexing

- DOCA (Distance Of Closest Approach)
- POCA (Point Of Closest Approach)
- La distance minimale (DOCA) de deux points dans deux lignes droites est la distance des deux traces.
- *l*⊥*l*<sub>1</sub> et *l*⊥*l*<sub>2</sub> avec les points
   d'intersection M et N.
   DOCA est la distance entre M et N.
   POCA est le milieu de M et N.







# Type de trace

- Bord : région à moins de 10mm des plans de cube de TPC.
- Position de trace

trace traversante :  $p_e \in Bord$ ,  $p_s \in Bord$ 

**trace produite** :  $p_e \notin Bord$ ,  $p_s \in Bord$  ou  $p_e \in Bord$ ,  $p_s \notin Bord$ 

**trace contenue** :  $p_e \notin Bord$ ,  $p_e \notin Bord$ 





### Sélection de conversion de y dans le gaz

- Evt avec 2 traces produites.
- DOCA < 10 mm.
- POCA est dans la TPC, loin du bord.





- Introduction
- Le projet HARPO
- Reconstruction d'événements
- <u>Le filtre de Kalman</u>
- Prise de données en faisceau
- Conclusion et perspectives







## Le filtre de Kalman

#### • Trace non rectiligne :

-Diffusion multiple

-Erreurs de mesure

#### • Le filtre de Kalman :

Tracking par estimateur optimal en présence de corrélation (diffusion multiple)

### • Fonctionnement du filtre de Kalman :

 Équation de prédiction : *X<sub>k</sub>*=*F<sub>k</sub>X<sub>k-1</sub>+ω<sub>k</sub>* 
 Équation de mesure : *M<sub>k</sub>*=*H<sub>k</sub>X<sub>k</sub>+ε<sub>k</sub>*

X est le vecteur d'état :  $X_k = (x, y, z, v_x, v_y, v_z)$ M est le vecteur des mesures :  $M_k = (x_m, y_m, z_m)$ F est la matrice de propagation H est la matrice de mesure  $\omega$  est la diffusion multiple  $\varepsilon$  est les incertitudes de mesure

2014-12-11



# Les étapes du filtre de Kalman

• Le filtrage : Une passe dans le sens du temps

Pour chaque instant une estimation du vecteur d'état contient toutes les informations des plans précédents.



Le lissage :Une passe à rebrousse poil

La trace filtrée est analysée à rebours, en partant du dernier instant.

Pour chaque instant on corrige le vecteur d'état filtré en utilisant la diffusion multiple attendue (l'écart entre le vecteur d'état lissé et le vecteur d'état prédit).



### Filtre de Kalman —Simulation "Toy MC"



#### • Pour une TPC :

L = 30 cm dans le gaz de 5 bar d'argon Résolution spatiale : σ = 0.1cm Échantillonnage : l = 0.1 cm(N =300)

• Pour un électron incident :

l'impulsion : p = 40MeV/c

l'état initial :X0=(0, 1, 0, 0, 0.1,(0.99))

Diffusion multiple gaussienne

```
5000 traces générées.
```



# L'effet du filtre sur une trace

J'ai filtré la trajectoire d'électron en 3D, ici je montre les traces en 2D



La trace réelle est en bleu, les points de mesure en vert et la trace filtrée en rouge



**Résolution Angulaire** - Validation du résidu et son RMS  $\sigma_a = (2\sigma)^{\frac{1}{4}} l^{\frac{1}{8}} X_0^{\frac{-3}{8}} (\frac{p}{p_0})^{\frac{-3}{4}} \simeq 0.0126 \, rad \sim \sigma_{aS}(z=0)$ 



2014-12-11

Shaobo WANG



- Introduction
- Le projet HARPO
- Reconstruction d'événements
- Le filtre de Kalman
- Prise de données en faisceau
- Conclusion et perspectives





# Spring8/NewSUBARU





- Laser-Compton Source :
  - γ Produit par diffusion Compton inverse entre laser et électrons relativistes avec même polarisation du laser
- Faisceau de γ :
  - electrons (0.6 à 1.5 GeV)
  - <mark>– laser (0.532</mark> à 10.55 μm)
  - L'énergie du γ : 1.7 MeV ~ 72 MeV
- La polarisation du γ :

P~100% ou P~0 par la polarisation du laser

- Gaz : 1 à 4 bar de Ar/iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub> :95/5 %
- Systématiques : rotations de TPC : -45°, 0°, 45°, 90° 2014-12-11 Shaobo WANG









haobo WANG











### Prise de données à NewSUBARU au Japon

- Monitoring off line : reconstruction sans filtre de Kalman
  - Alignement
  - Calibration





### Alignement du faisceau

- Sélection de conversion de γ dans le gaz
- Vertex par position du "début" de l'evt
- Normalise au centre de TPC
- Fit par une fonction linéaire







### Calibration

- Sélection de TTZ (Trace Traversante en Z)
- Distribution de charge en fonction <sup>100</sup> du temps et fit par la fonction :

$$f = A \cdot Erfc[\frac{(t_{init} - t)}{\sigma_1}] Erfc[\frac{(t - t_{fin})}{\sigma_2}] e^{\frac{-t}{\tau}}$$

- Le gain :

$$Gain = \frac{Q_t}{N_{tracks}}$$

– La vitesse de dérive :

$$v_{drift} = \frac{L_{TPC}}{t_{drift}} = \frac{L_{TPC}}{(t_1 - t_0)}$$

L'absorption d'électron dans le gaz selon le temps :









2014-12-11





### Conclusion et perspectives

#### • Harpo:

- Intégration / validation détecteur
- conception / réalisation d'un trigger "faisceau".
- Prise de données au Japon 20 Oct. ~ 20 Nov.
- Traitement des données dans le future.
- Mon travail

#### \* Reconstruction d'événement :

- des données en cosmique et en y
- des données de simulation

#### \* Filtre de Kalman

- validé en simulation
- à intégrer dans reconstruction