

# Structure du nucléon et Distributions de Partons Généralisées

Diffusion Compton Profondément Virtuelle

## Plan :

1. Présentation des GPDs et le DVCS dans le Hall A de Jefferson Lab
2. Calorimètre électromagnétique : algorithmes de reconstruction, résolutions
3. Conclusions et perspectives

**Carlos Muñoz Camacho**

SPhN/CEA-Saclay

*Journées Jeunes Chercheurs 2003*

*2 decembre, 2003*

# Petite histoire de la structure du nucléon

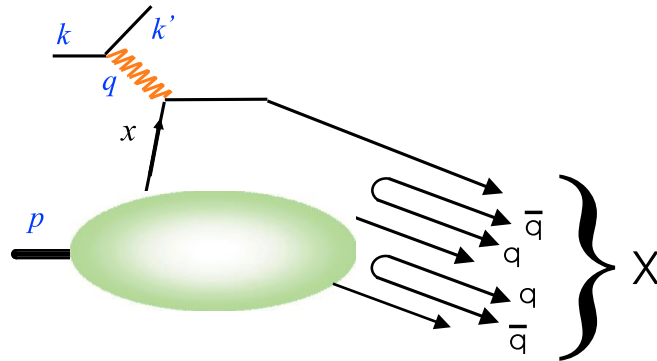
➔ Facteurs de forme (50s) :

*Diffusion élastique de leptons* ( $lN \rightarrow l'N'$ )

➔ Distributions de partons (60s) :

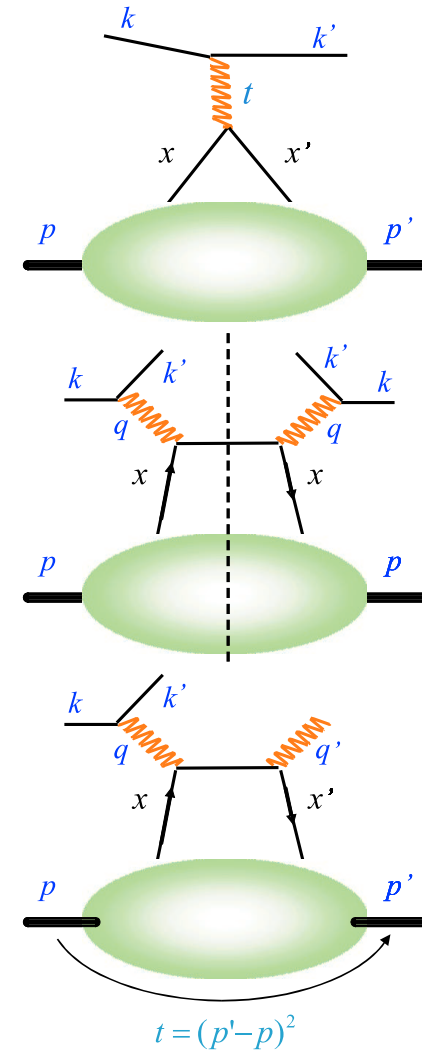
*Diffusion profondément inélastique de leptons*

( $lN \rightarrow l'X$ )



Théorème Optique

$\Rightarrow$



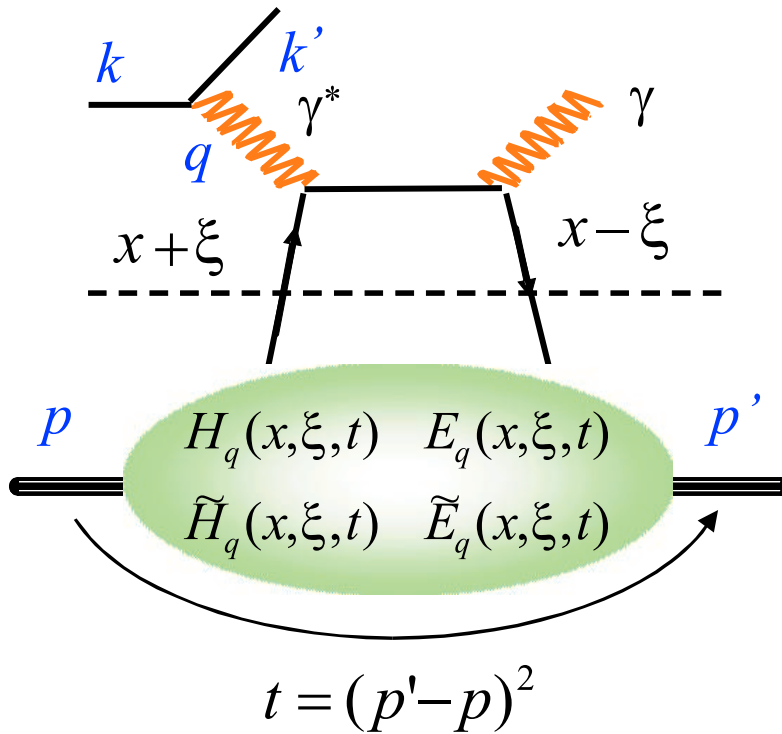
➔ Distributions de Partons Généralisées (GPDs) :

*Processus exclusifs durs*

( $lN \rightarrow l'N'\gamma, l'N'\rho, l'N'\omega \dots$ )

DVCS

# GPDs et le DVCS ( $ep \rightarrow e' p' \gamma$ )



Grand  $Q^2$   
QCD Perturbative

Non-perturbatif  
GPDs

Diagramme du sac à main

Limite profondément virtuelle :

$$Q^2 = -q^2 = -(k - k')^2 \gg M^2$$

$$t = (p - p')^2 \ll Q^2$$

$x$  : fraction d'impulsion moyenne du proton portée par le quark dans la boucle

$$\xi \simeq \frac{x_B}{2 - x_B} \quad x_B = \frac{Q^2}{2pq}$$

# Distributions de Partons Généralisées

Distributions de partons :

$$H^q(x, \xi = 0, t = 0) = q(x) \qquad \tilde{H}^q(x, \xi = 0, t = 0) = \Delta q(x)$$

Facteurs de forme :

$$\int_{-1}^1 dx H_q(x, \xi, t) = F_1^q(t) \qquad \int_{-1}^1 dx E_q(x, \xi, t) = F_2^q(t) \quad \forall \xi$$
$$\int_{-1}^1 dx \tilde{H}_q(x, \xi, t) = g_A^q(t) \qquad \int_{-1}^1 dx \tilde{E}_q(x, \xi, t) = h_A^q(t) \quad \forall \xi$$

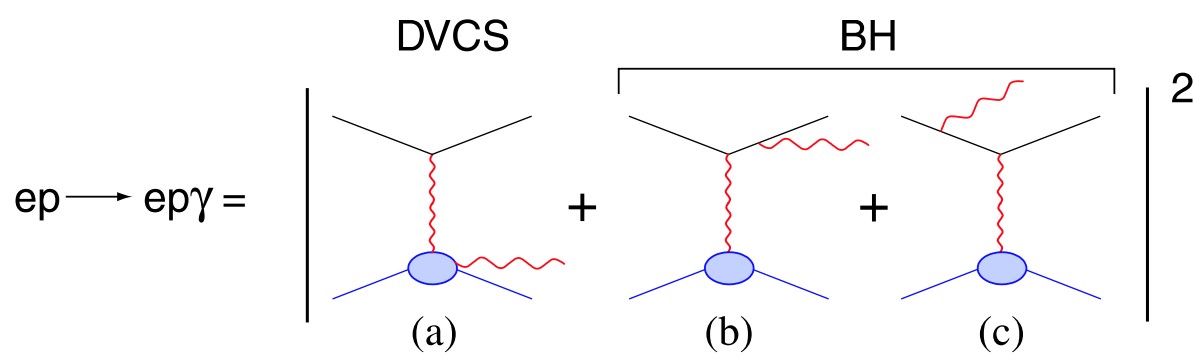
Crise du spin (90s) :

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \underbrace{\Delta \Sigma + L_{\text{quarks}}}_{J_{\text{quarks}}} + \Delta G + L_{\text{gluons}}$$

Règle de somme de Ji :

$$J_q = \frac{1}{2} \sum_q \int_{-1}^1 [H_q(x, \xi, t = 0) + E_q(x, \xi, t = 0)] x dx = \frac{1}{2} \Delta \Sigma + L_{\text{quarks}} \quad \forall \xi$$

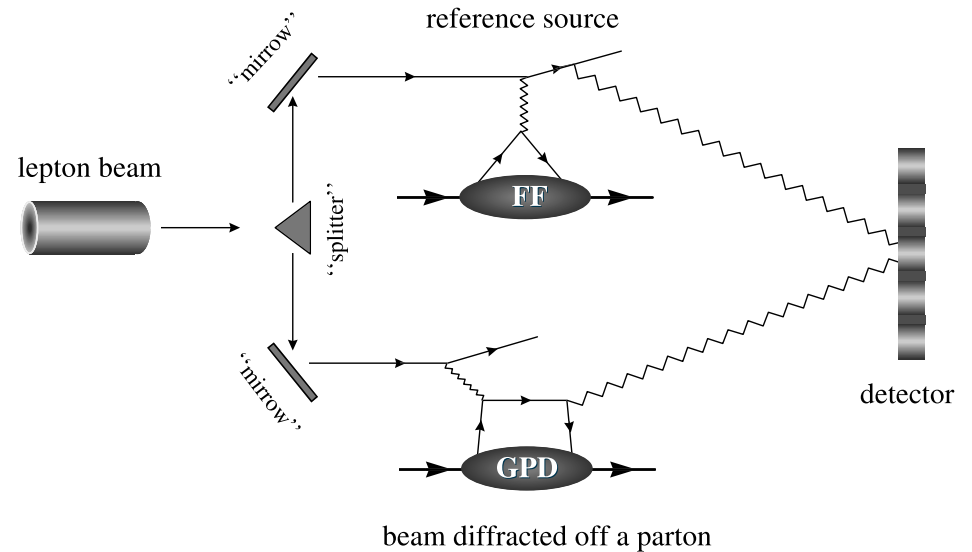
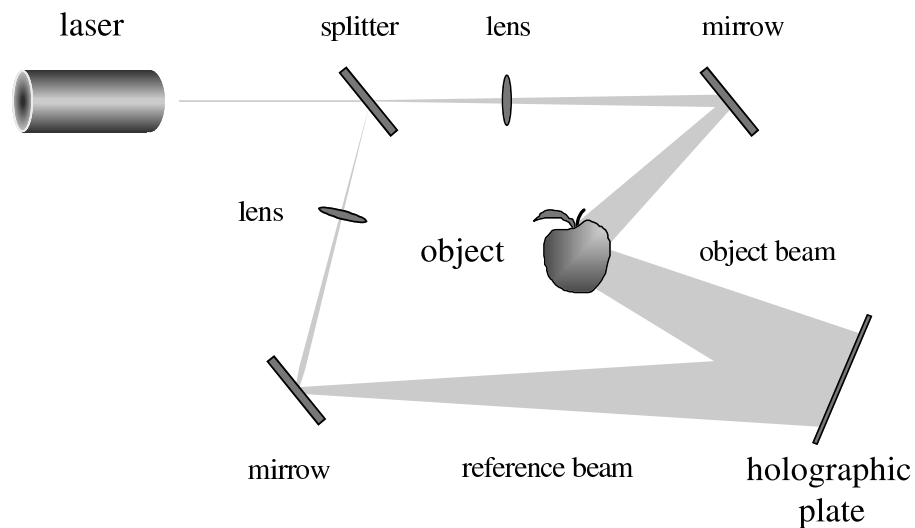
# DVCS et Bethe-Heitler (holographie du nucléon)



- **BH dominant** dans tout le régime cinématique de l'expérience
- **BH calculable** de façon précise en QED

Différence de sections efficaces avec des électrons d'hélicités opposées :

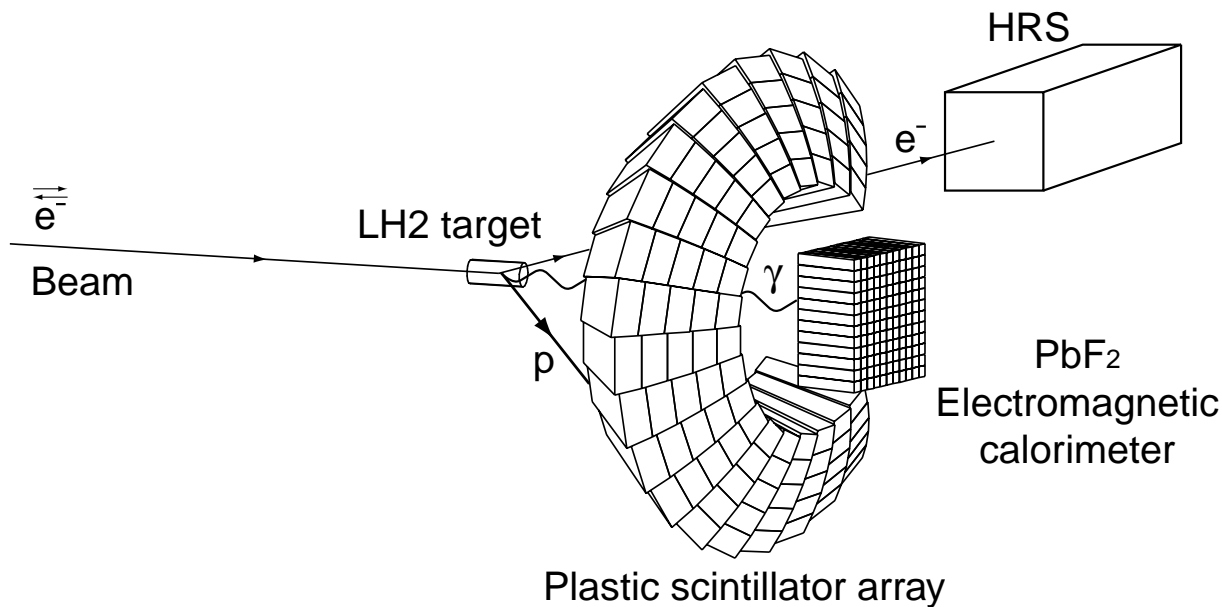
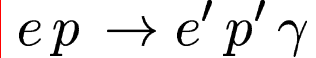
$$d^5 \vec{\sigma} - d^5 \overleftarrow{\sigma} \propto \text{Im}(BH \cdot DVCS) = \rho_{BH} \cdot \text{Im}(DVCS) \sim A \sin \varphi + B \sin 2\varphi$$



# Configuration expérimentale : Jefferson Lab Hall A

## Spectromètre de haute résolution

	Acceptance	Résolution
Impulsion	$\pm 4.5\%$	$3 \cdot 10^{-4}$
Angulaire	28 mrad (hor.) et 60 mrad (vert.)	0.6 mrad (hor.) et 2.0 mrad (vert.)



## Détecteur proton

- 100 blocs de plastique EJ200
- Couverture angulaire :

$$45^\circ \leq \varphi \leq 315^\circ$$

$$18^\circ \leq \theta \leq 38^\circ$$

- La mesure des 4-vecteurs de l' $e^-$  du  $\gamma$  détermine complètement la cinématique
- Une variable cinématique de plus  $\Rightarrow$  **masse manquante  $M_X$**  (ex :  $ep \rightarrow e\gamma X$ )

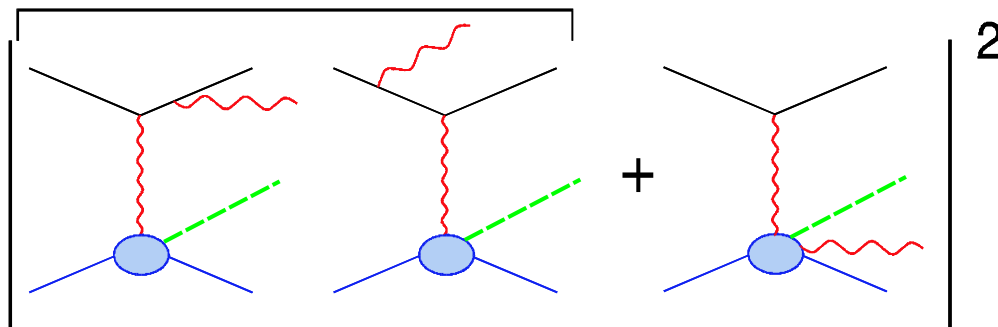
# Canaux parasites

– DVCS Associé :

$$ep \rightarrow ep\pi^0\gamma$$

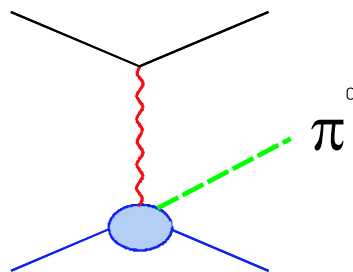
$$ep \rightarrow en\pi^+\gamma$$

BH



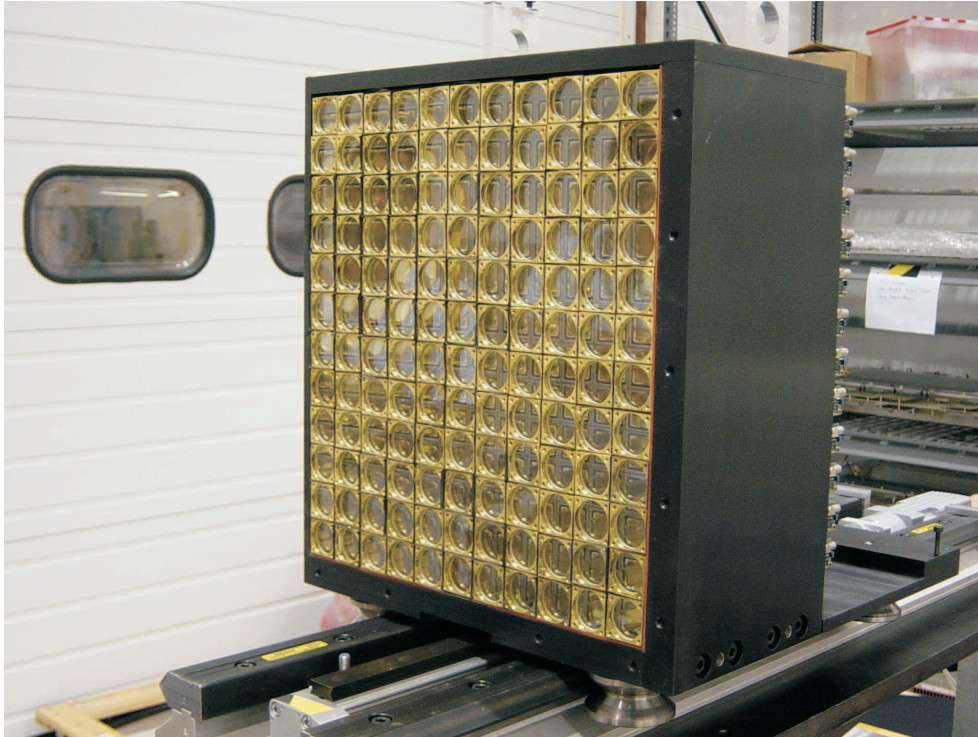
– Production  $\pi^0$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$$



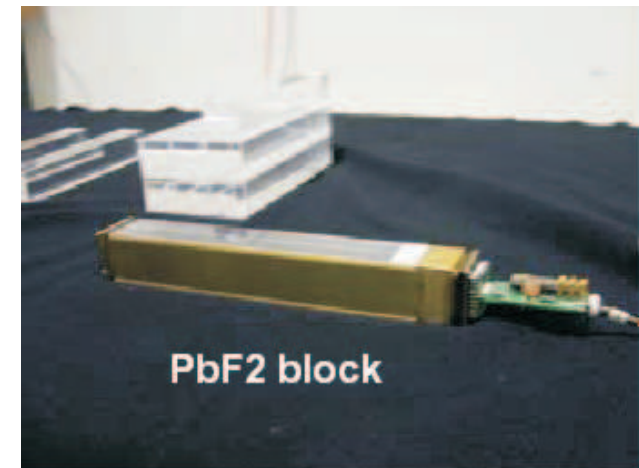
- ✍ Coupure en masse manquante  $M_X^2 : ep \rightarrow e\gamma X$
- ✍ Vérification de la direction du proton de recul

# Calorimètre électromagnétique



- ➔ 132 blocs (11×12) de  $\text{PbF}_2$  (milieu Čerenkov)  $3.0 \times 3.0 \times 18.6 \text{ cm}$  ( $\sim 20X_0$ ) :
  - Densité :  $7.7 \text{ g/cm}^3$
  - Rayon de Molière :  $2.2 \text{ cm}$
  - Longueur de radiation :  $0.95 \text{ cm}$

- PMs Hamamatsu R5900U très rapides (1 ns temps de montée, 2 ns temps de descente)



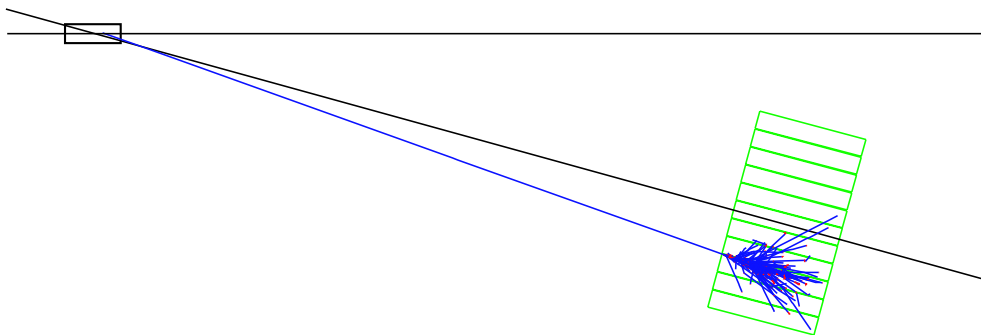
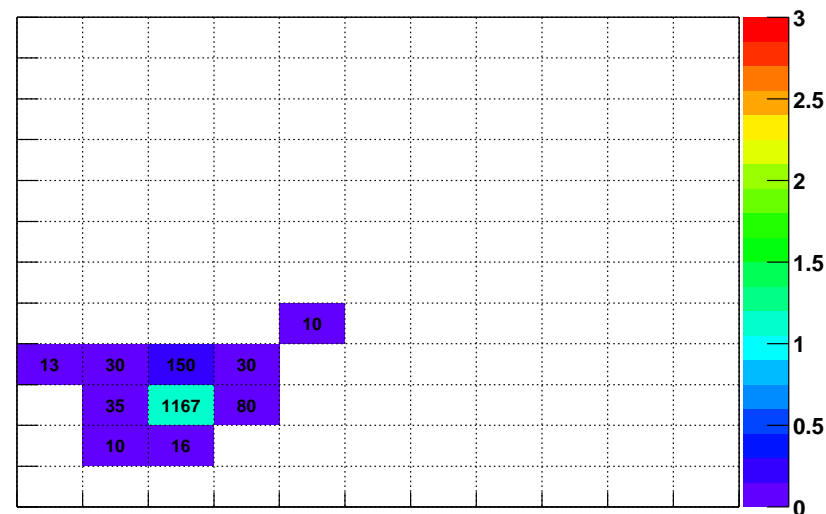


# Algorithme de reconstruction

$$E = \sum_i E_i \quad x = \frac{\sum_i w_i x_i}{\sum_i w_i}$$

Poids logarithmiques :

$$w_i = \max \left\{ 0, \left[ W_0 + \ln \left( \frac{E_i}{E} \right) \right] \right\}$$



Corrections vertex et profondeur gerbe :

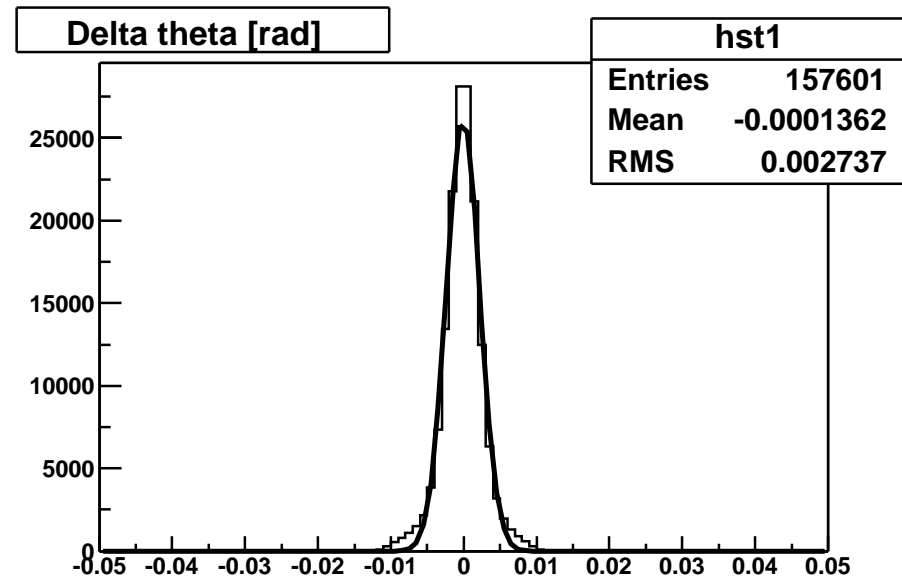
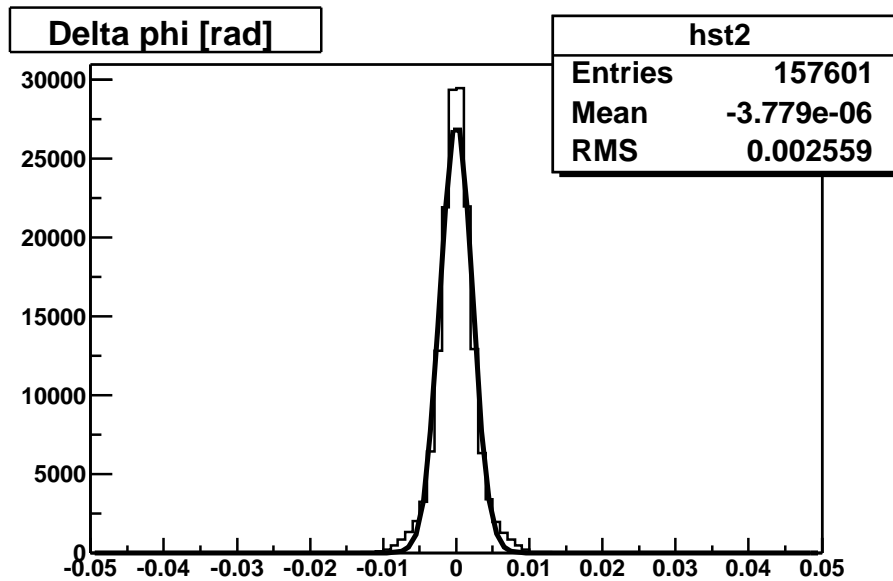
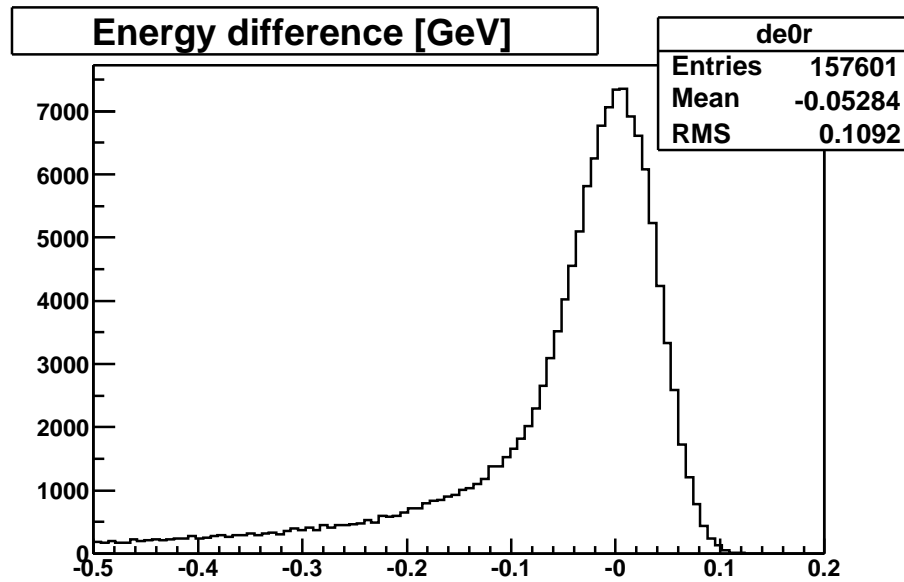
$$x_{corr} = x \left( 1 - \frac{a E^b}{\underbrace{\sqrt{L_{vc}^2 + x^2}}_{\text{vertex correction}}} \right)$$

Optimisation des paramètres en minimisant :

$$\chi^2 = \sum_{ev} \left( \frac{\theta_{rec} - \theta_{gen}}{\sigma_\theta} \right)^2 + \left( \frac{\varphi_{rec} - \varphi_{gen}}{\sigma_\varphi} \right)^2$$

$$W_0 = 3.91 \quad a = 0.34 \quad b = 2.75$$

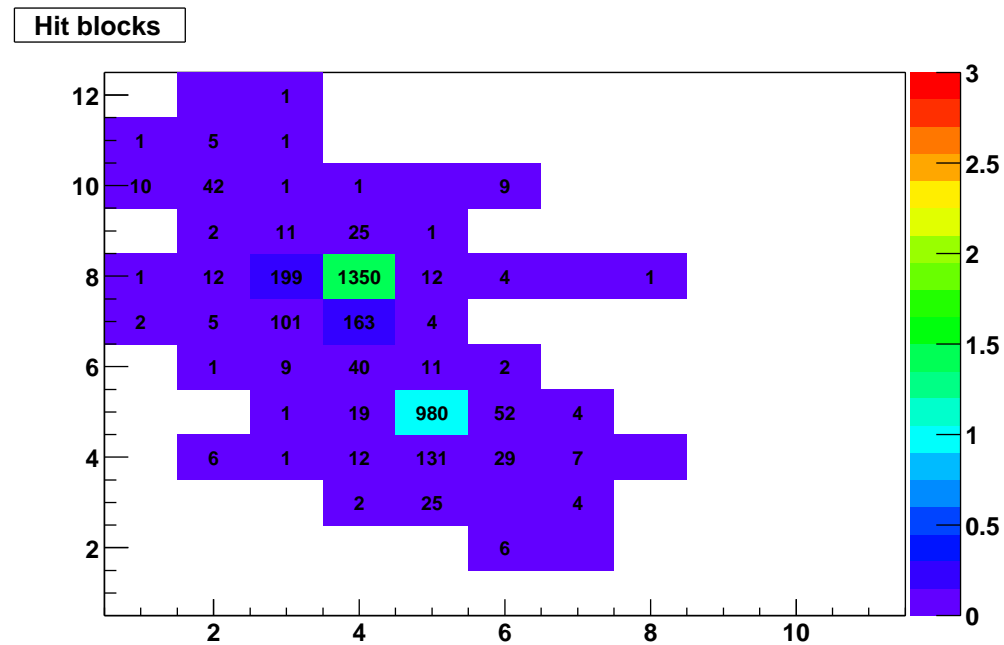
# Résolution de la reconstruction



# $\pi^0 \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$ : Séparation des clusters

*Problème* : Si les deux photons sont détectés dans le calorimètre, un algorithme de reconstruction qui ne prévoit qu'un seul cluster ne marchera pas du tout.

Mais comment séparer les 2 clusters quand ils sont très proches ?



Cinématique de la décroissance :

- **Distribution d'énergie** de chaque  $\gamma$  est plate entre  $E_{\gamma}^{min} \simeq 0$  et  $E_{\gamma}^{max} \simeq \gamma m_{\pi^0}$
- **Angle minimal** (et plus probable) entre les deux  $\gamma$  de  $5^\circ$  pour  $E_{\pi^0} = 3 \text{ GeV}$   
 $\Rightarrow$  au moins 2 blocs du calorimètre entre les points d'impact des deux  $\gamma$

# Algorithme d'identification des clusters : Automate Cellulaire

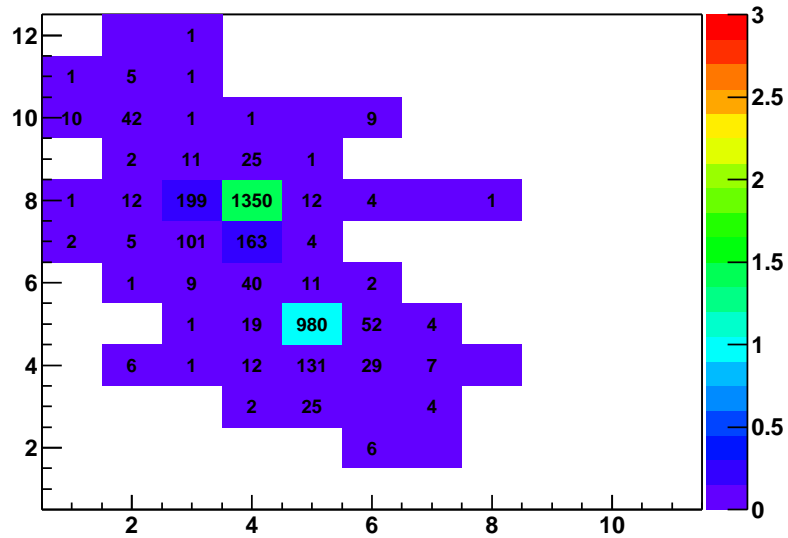
## Principe :

1. On identifie les maximums locaux (*virus*)
2. À chaque pas de temps, chaque cellule prend la valeur du voisin de plus grande énergie (*elle est contaminée*)
3. Une cellule qui a déjà été contaminée par un virus ne change plus

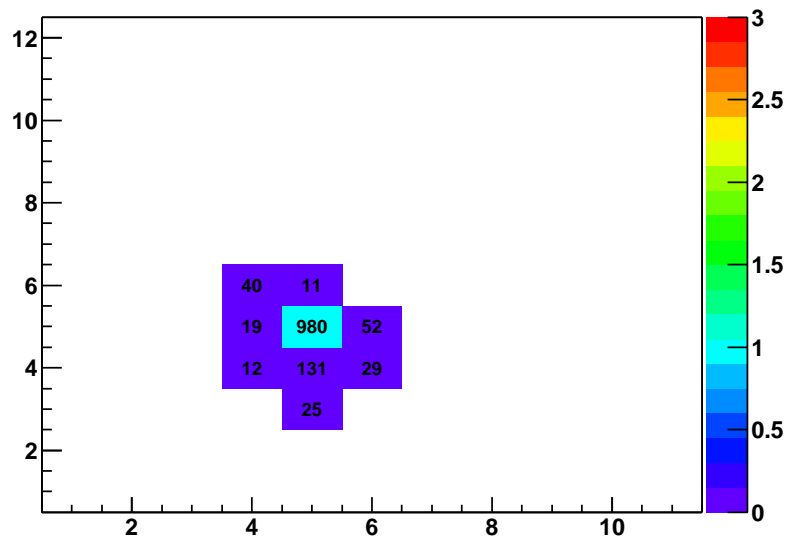
0.2	3.0	7.0
3.0 1.0 0.2	7.0 7.0 2.0	7.0 7.0 7.0
0.3 0.2 0.4 7.0 2.0 0.2	8.0 8.0 8.0 7.0 7.0 2.0	8.0 8.0 8.0 7.0 7.0 7.0
2.0 8.0 1.0 0.4	8.0 8.0 8.0 7.0	8.0 8.0 8.0 7.0
0.2 0.6 0.3 0.2	8.0 8.0 8.0 1.0	8.0 8.0 8.0 8.0

# Séparation des clusters : exemple

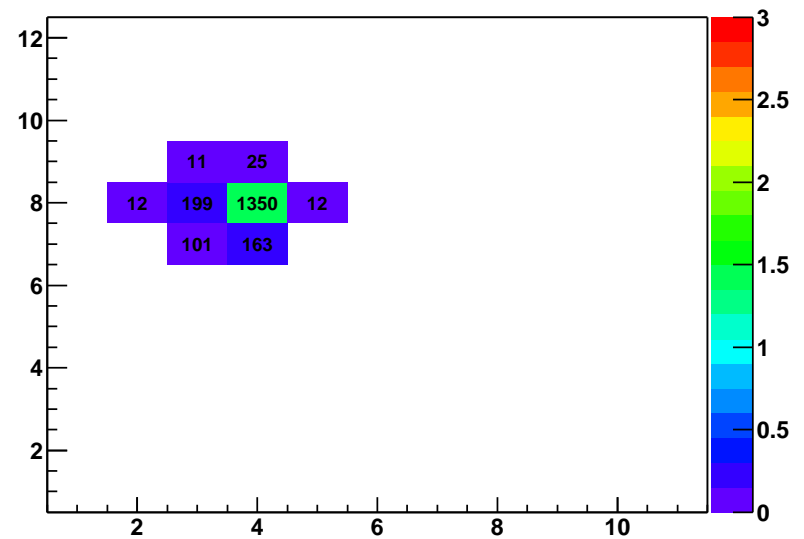
Hit blocks



Hit blocks: cluster 1

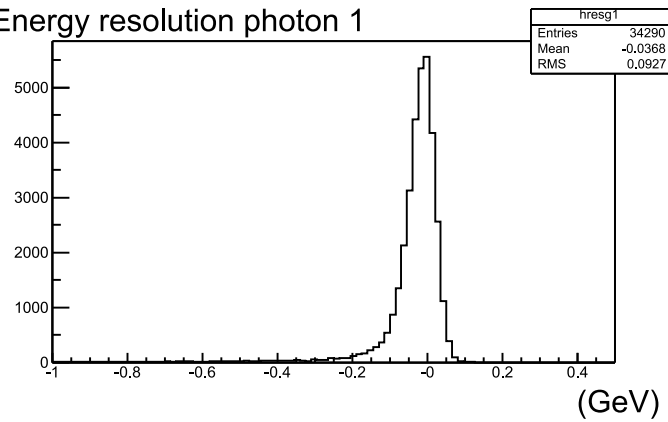


Hit blocks: cluster 2

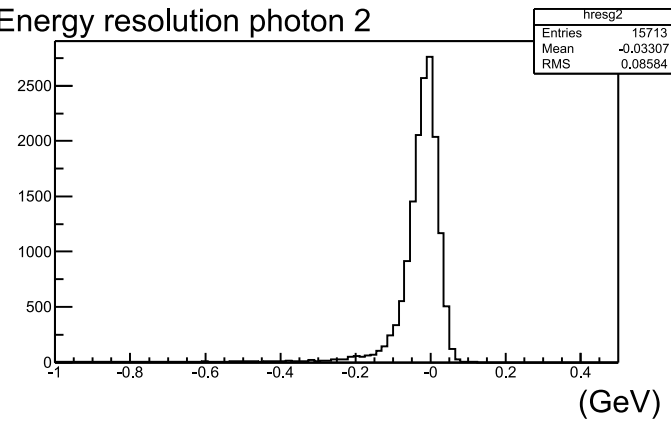


# Résultats

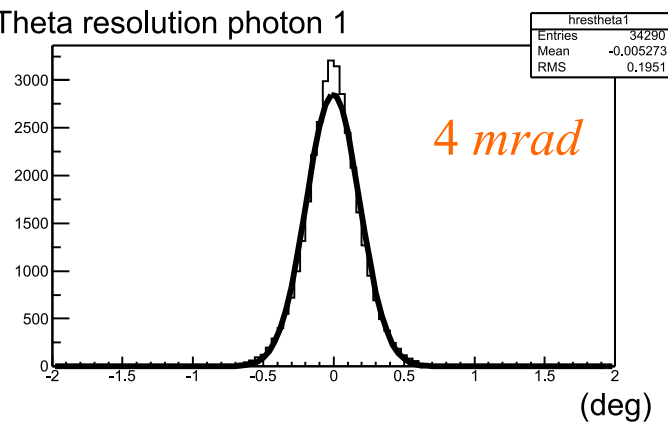
Energy resolution photon 1



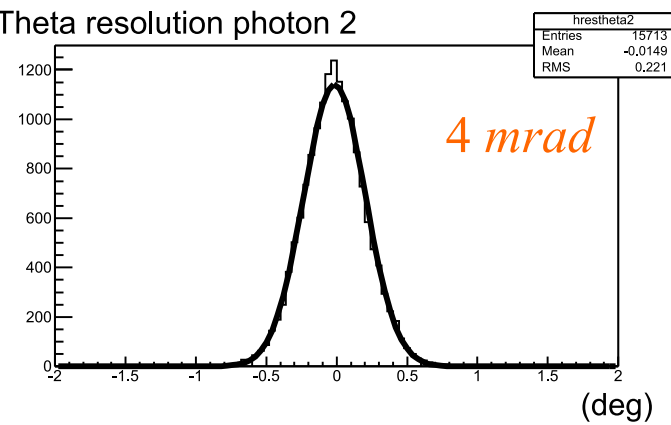
Energy resolution photon 2



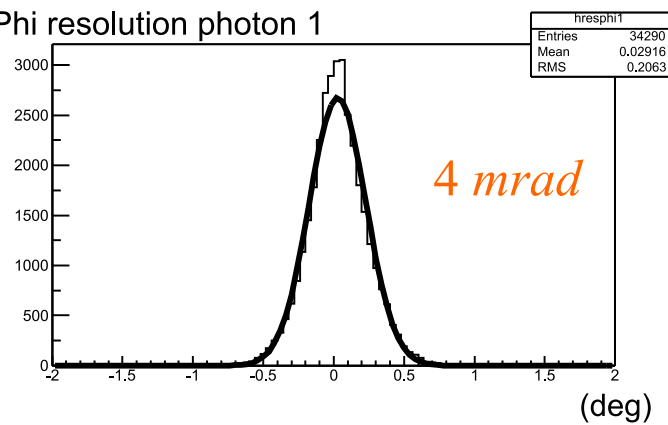
Theta resolution photon 1



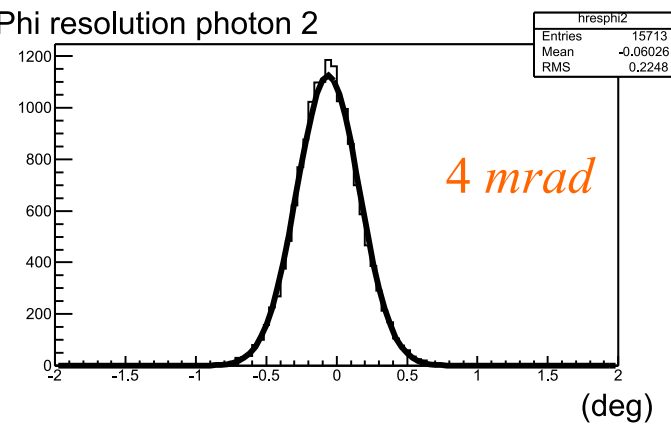
Theta resolution photon 2



Phi resolution photon 1



Phi resolution photon 2



# Conclusions

- ✓ Les **GPDs** unifient les observables utilisées jusqu'à maintenant pour décrire la structure du nucléon, mais elles contiennent *de nouvelles informations*.
- ✓ Le **DVCS** est le processus le plus élémentaire pour accéder aux GPDs.
- ✓ Le **DVCS dans le Hall A de Jefferson Lab** est la première expérience dédiée à l'étude de ce processus.

## Perspectives :

- ✍ Assemblage et tests des détecteurs (→ mai 2004)
- ✍ Prise de données pendant l'été 2004
- ✍ Analyse ( $\sim 8$  mois)