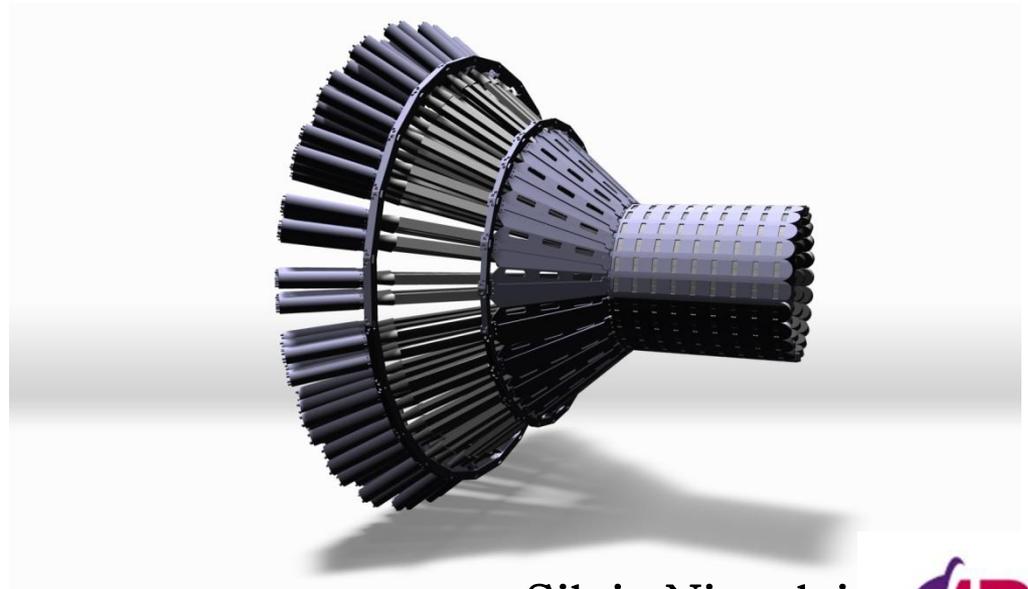
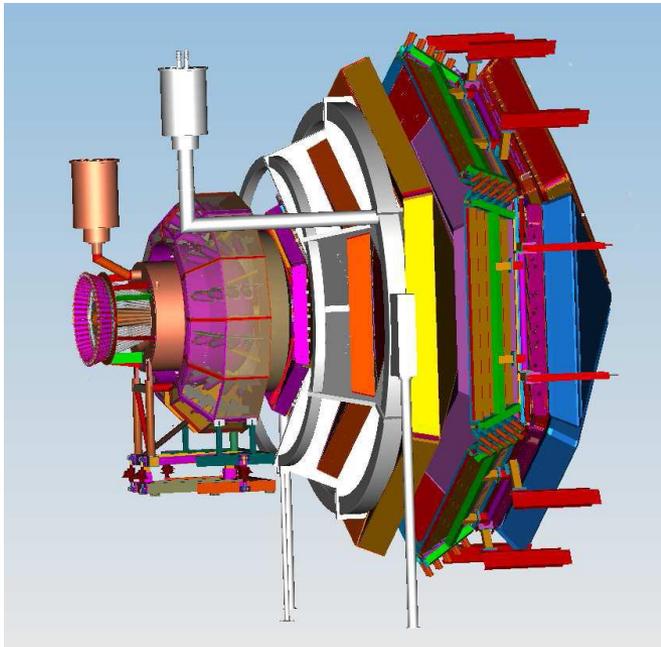
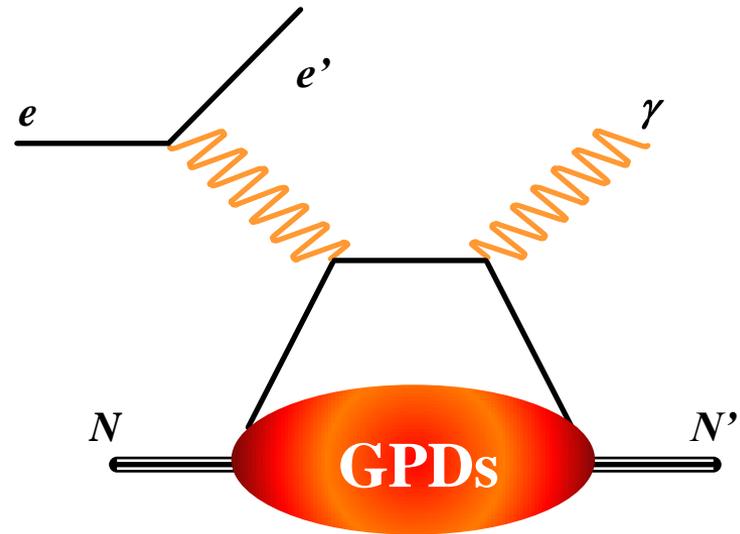
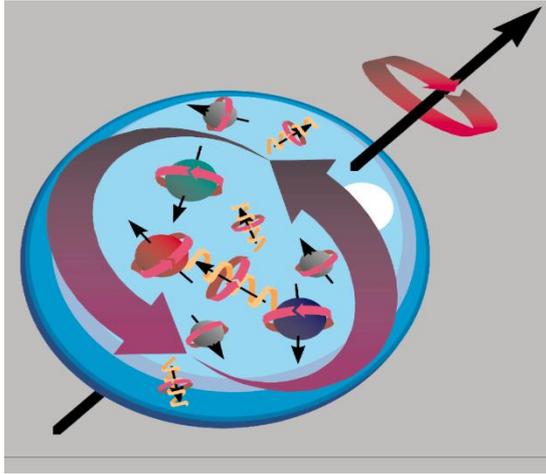


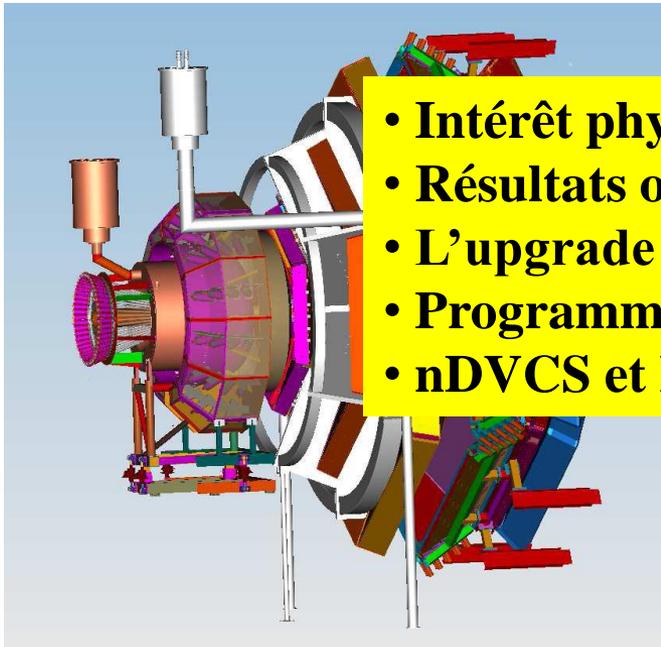
Distributions de Partons Généralisées à CLAS12



Silvia Niccolai
CS IN2P3 20/10/2011



Distributions de Partons Généralisées à CLAS12



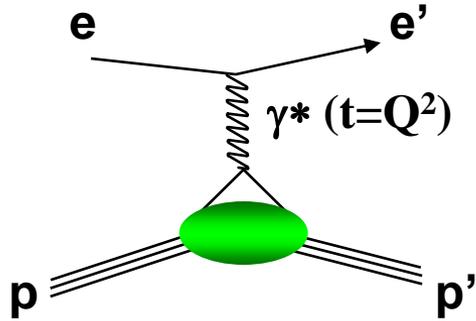
- Intérêt physique des GPDs et DVCS
- Résultats obtenus à JLab@6 GeV
- L'upgrade à 12 GeV et CLAS12
- Programme des mesures de GPDs à CLAS12
- nDVCS et le Central Neutron Detector

- **Intérêt physique des GPDs et DVCS**

- Résultats obtenus à JLab@6 GeV
- L'upgrade à 12 GeV et CLAS12
- Programme des mesures des GPDs à CLAS12
- nDVCS et le Central Neutron Detector

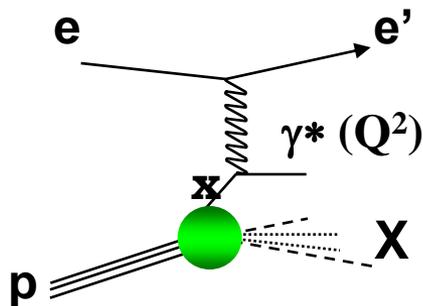
Diffusion d'électrons sur le proton : hier

➤ **1950: Diffusion élastique** : $ep \rightarrow e'p'$ (Hofstadter, prix Nobel, 1961)

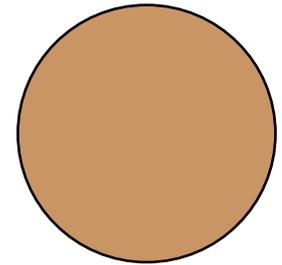


- Le proton n'est pas ponctuel
- Mesure des distributions de **charge et courant** du proton: **facteurs de forme** ($F_1(t)$, $F_2(t)$)

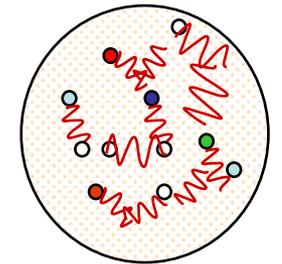
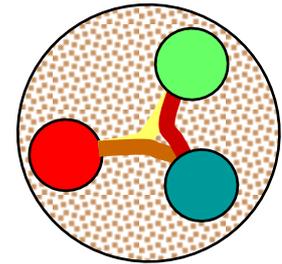
➤ **1967: Diffusion profondément inélastique (DIS)** : $ep \rightarrow e'X$ (Friedman, Kendall, Taylor, prix Nobel, 1990)



- Découverte des **quarks** (ou "partons")
- Mesure des **distributions d'impulsion et spin** des partons: $q(x)$, $\Delta q(x)$

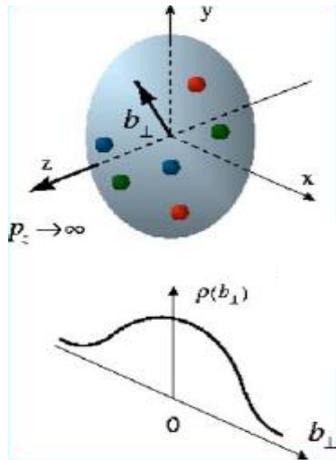


Bas
 Q^2

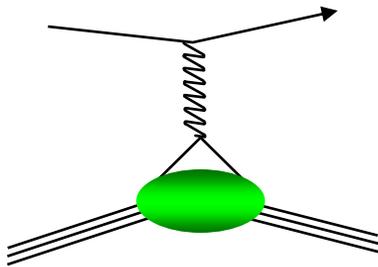


Grand
 Q^2

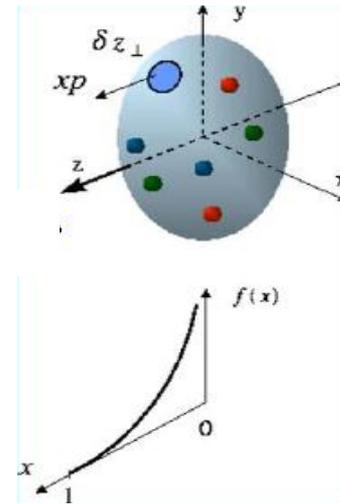
Diffusion d'électrons sur le proton : aujourd'hui



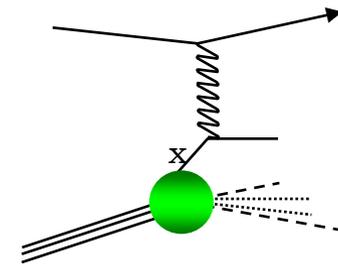
Facteurs de forme:
distributions **spatiales**
transverses



?

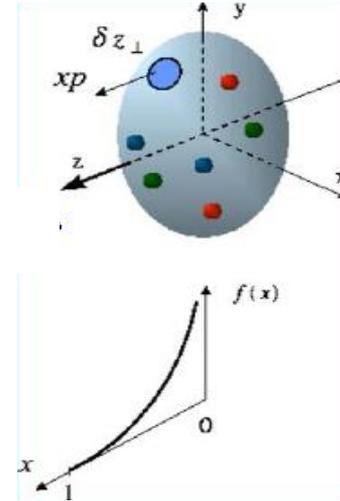
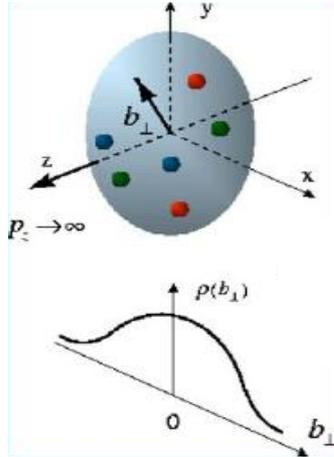


Distributions des partons:
impulsion **longitudinale**
et **spin** des quarks



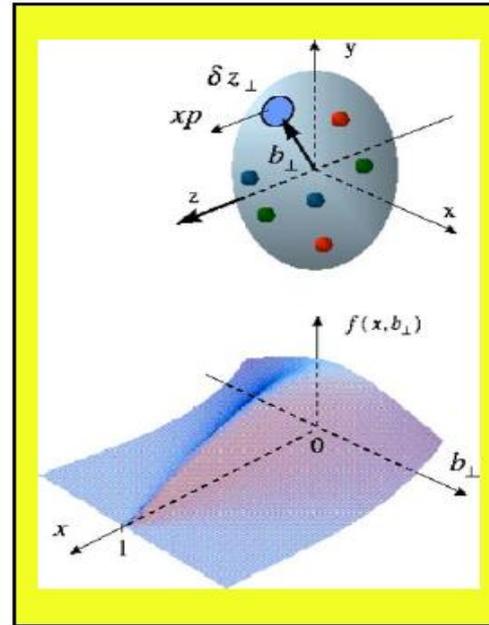
Diffusion d'électrons sur le proton : aujourd'hui

GPDs: $H, E, \tilde{H}, \tilde{E}$
corrélation entre
les distributions spatiales
et les distributions d'impulsion

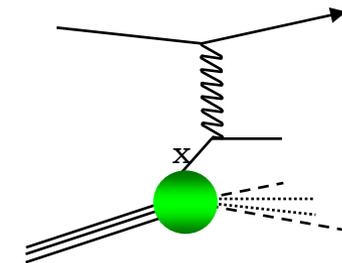
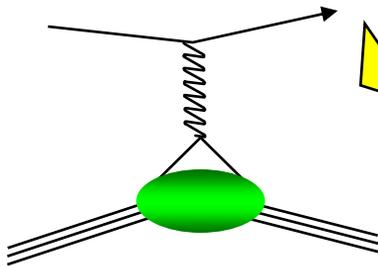


Facteurs de forme:
distributions **spatiales**
transverses

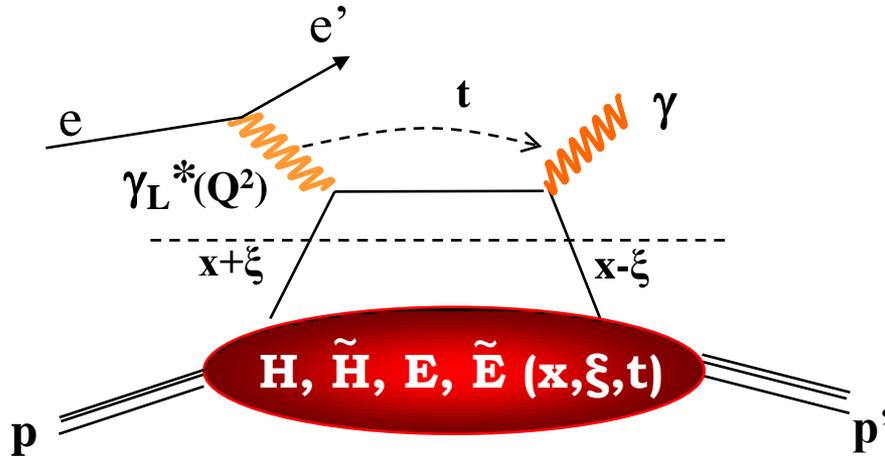
Distributions des partons:
impulsion **longitudinale**
et **spin** des quarks



Processus exclusifs « durs »



Deeply Virtual Compton Scattering et GPDs



- $Q^2 = - (e - e')^2$
- $x_B = Q^2 / 2Mv$ $v = E_e - E_{e'}$

- $x + \xi, x - \xi$ fractions d'impulsion longitudinales
- $t = (p - p')^2$
- $\xi \cong x_B / (2 - x_B)$

Factorisation “handbag” valide dans le régime de Bjorken: grand Q^2 , v (fixe x_B), $t \ll Q^2$

$$\int H(x, \xi, t) dx = F_1(t) \quad H(x, 0, 0) = q(x)$$

$$\int E(x, \xi, t) dx = F_2(t) \quad \tilde{H}(x, 0, 0) = \Delta q(x)$$

Moment angulaire des quarks
(règle de somme de Ji)

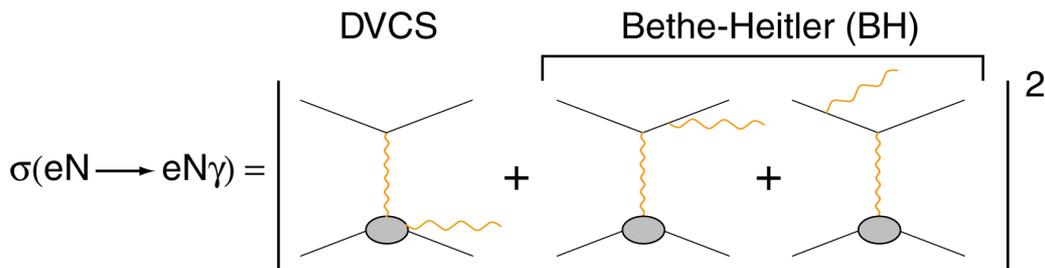
$$J^q = \frac{1}{2} - J^G = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 x dx [H^q(x, \xi, 0) + E^q(x, \xi, 0)]$$

4 GPDs pour chaque saveur de quark

Spin du nucléon conservée	$H(x, \xi, t)$	$\tilde{H}(x, \xi, t)$
“Spin-flip” du nucléon	$E(x, \xi, t)$	$\tilde{E}(x, \xi, t)$
Helicité du quark conservée		“Flip” de l’helicité du quark

Image «3D» du nucléon

Accéder aux GPDs avec le DVCS

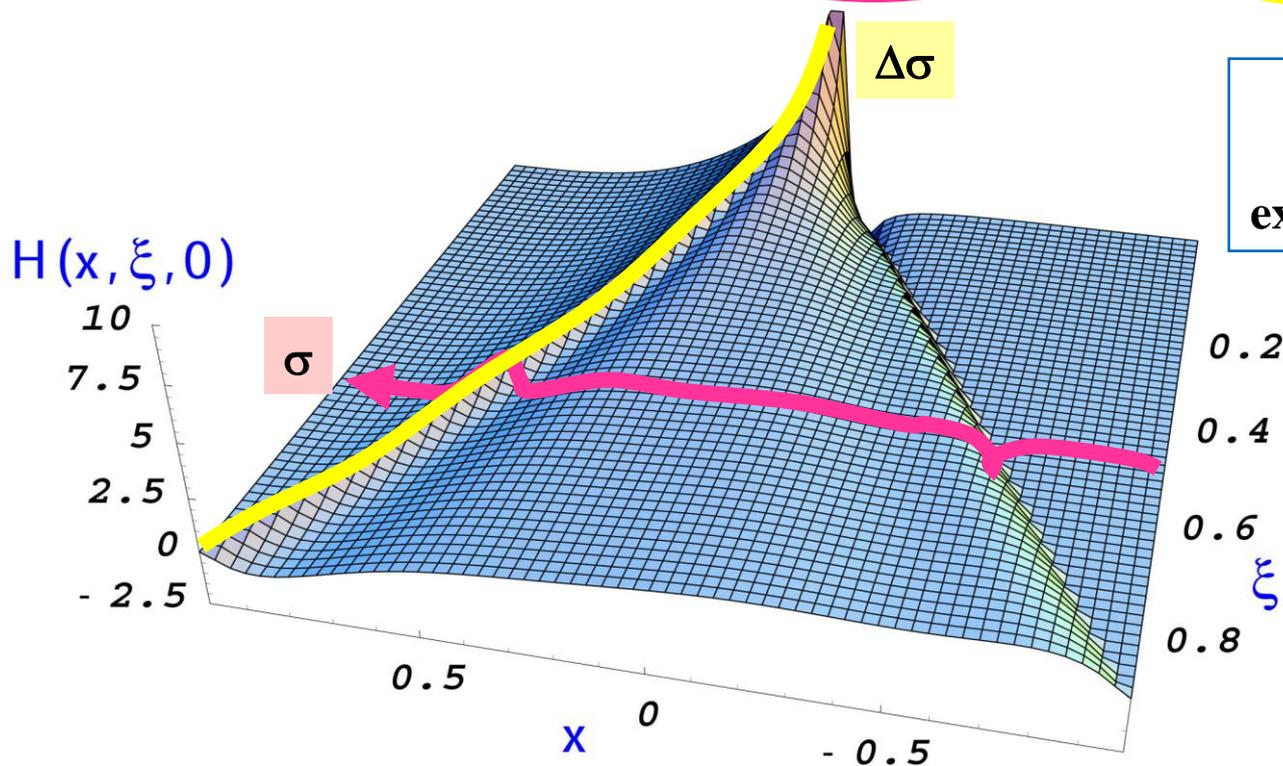


$$\sigma \sim |T^{DVCS} + T^{BH}|^2$$

$$\Delta\sigma = \sigma^+ - \sigma^- \propto I(DVCS \cdot BH)$$

$$A = \frac{\Delta\sigma}{2\sigma} \propto \frac{I(DVCS \cdot BH)}{|BH|^2 + |DVCS|^2 + I}$$

$$T^{DVCS} \sim \int_{-1}^{+1} \frac{GPDs(x, \xi, t)}{x \pm \xi + i\epsilon} dx + \dots \sim P \int_{-1}^{+1} \frac{GPDs(x, \xi, t)}{x \pm \xi} dx \pm i\pi GPDs(\pm\xi, \xi, t) + \dots$$

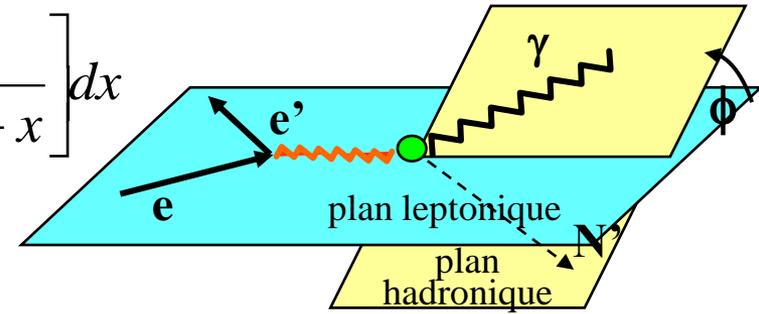


Seulement ξ et t sont accessibles expérimentalement

DVCS : sensibilité aux GPDs des observables polarisées

$$Re\mathcal{H}_q = e_q^2 P \int_0^{+1} \left(H^q(x, \xi, t) - H^q(-x, \xi, t) \right) \left[\frac{1}{\xi - x} + \frac{1}{\xi + x} \right] dx$$

$$Im\mathcal{H}_q = \pi e_q^2 \left[H^q(\xi, \xi, t) - H^q(-\xi, \xi, t) \right]$$

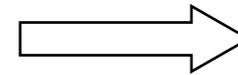


$$\xi = x_B / (2 - x_B) \quad \mathbf{k} = -\mathbf{t} / 4M^2$$

Proton Neutron

Faisceau polarisé, cible non polarisée:

$$\Delta\sigma_{LU} \sim \sin\phi \operatorname{Im}\{F_1\mathcal{H} + \xi(F_1+F_2)\tilde{\mathcal{H}} - kF_2\mathcal{E}\} d\phi$$

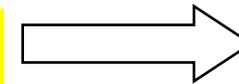


$$\operatorname{Im}\{\mathcal{H}_p, \tilde{\mathcal{H}}_p, \mathcal{E}_p\}$$

$$\operatorname{Im}\{\mathcal{H}_n, \tilde{\mathcal{H}}_n, \mathcal{E}_n\}$$

Faisceau non polarisé, cible polarisée longitudinalement:

$$\Delta\sigma_{UL} \sim \sin\phi \operatorname{Im}\{F_1\tilde{\mathcal{H}} + \xi(F_1+F_2)(\mathcal{H} + x_B/2\mathcal{E}) - \xi kF_2\tilde{\mathcal{E}} + \dots\} d\phi$$

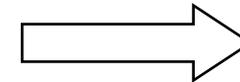


$$\operatorname{Im}\{\mathcal{H}_p, \tilde{\mathcal{H}}_p\}$$

$$\operatorname{Im}\{\mathcal{H}_n, \mathcal{E}_n, \tilde{\mathcal{E}}_n\}$$

Faisceau polarisé, cible polarisée longitudinalement:

$$\Delta\sigma_{LL} \sim (A + B\cos\phi) \operatorname{Re}\{F_1\tilde{\mathcal{H}} + \xi(F_1+F_2)(\mathcal{H} + x_B/2\mathcal{E}) \dots\} d\phi$$

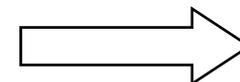


$$\operatorname{Re}\{\mathcal{H}_p, \tilde{\mathcal{H}}_p\}$$

$$\operatorname{Re}\{\mathcal{H}_n, \mathcal{E}_n, \tilde{\mathcal{E}}_n\}$$

Faisceau non polarisé, cible polarisée transversalement:

$$\Delta\sigma_{UT} \sim \sin\phi \operatorname{Im}\{k(F_2\mathcal{H} - F_1\mathcal{E}) + \dots\} d\phi$$



$$\operatorname{Im}\{\mathcal{H}_p, \mathcal{E}_p\}$$

$$\operatorname{Im}\{\mathcal{H}_n\}$$

- Intérêt physique des GPDs et DVCS
- **Résultats obtenus à JLab@6 GeV**
- L'upgrade à 12 GeV et CLAS12
- Programme des mesures des GPDs à CLAS12
- nDVCS et le Central Neutron Detector

**Jefferson Laboratory
Newport News, USA**

**Continuous
Electron
Beam
Accelerator
Facility**

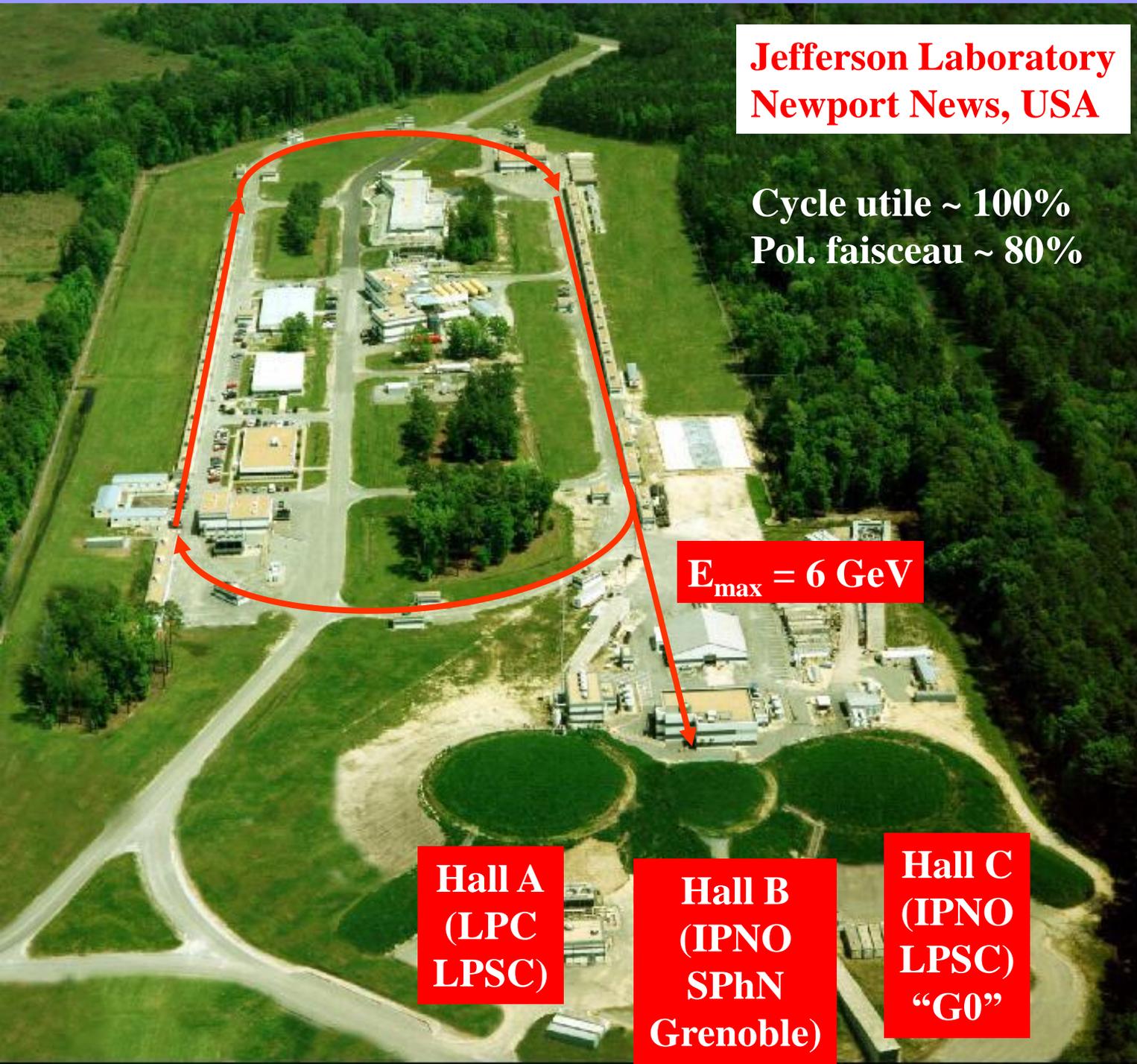
**Cycle utile ~ 100%
Pol. faisceau ~ 80%**

$E_{\max} = 6 \text{ GeV}$

**Hall A
(LPC
LPSC)**

**Hall B
(IPNO
SPhN
Grenoble)**

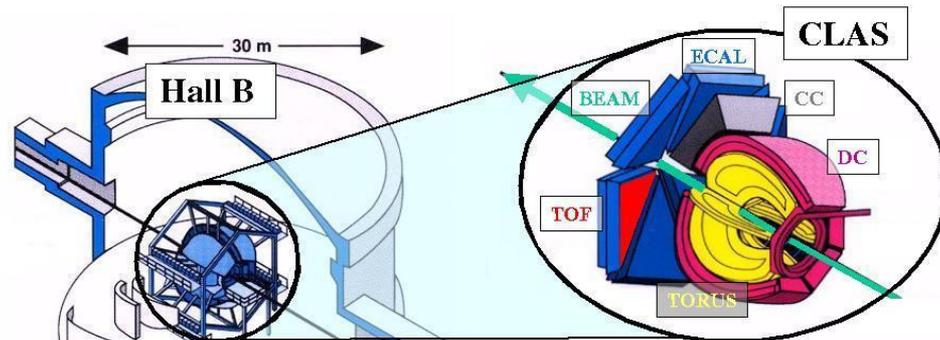
**Hall C
(IPNO
LPSC)
“G0”**



**Jefferson Laboratory
Newport News, USA**

Cycle utile ~ 100%
Pol. faisceau ~ 80%

**Continuous
Electron
Beam
Accelerator
Facility**



**CEBAF
Large
Acceptance
Spectrometer**

**Adapté pour mesurer
les réactions exclusives
avec états finaux à
plusieurs particules**

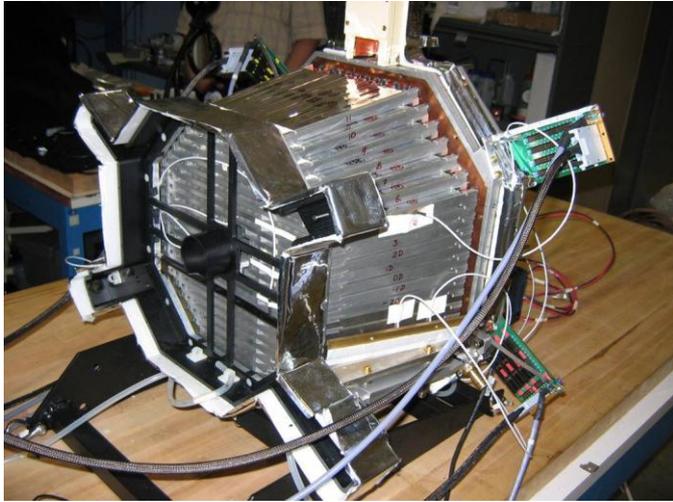
Mesures de DVCS à JLab

GPDs	Réaction	Obs.	Expt.	E_e	Status
$H(\pm\xi, \xi, t)$	$ep \rightarrow ep\gamma$	BSA	CLAS	4.2 GeV	Publié dans PRL
		BSA	CLAS	4.8- 5.75 GeV	Publié dans PRC
$\int H(x, \xi, t) dx$		($\sigma, \Delta\sigma$)	Hall A	5.75 GeV	Publié dans PRL (LPC)
		BSA	CLAS	5.75 GeV	Publié PRL (SPhN)
$\int H(x, \xi, t) dx$		($\sigma, \Delta\sigma$)	CLAS	5.75 GeV	Analyse en cours (IPNO)
$H, \tilde{H}(\pm\xi, \xi, t)$	$ep \rightarrow ep\gamma$	TSA (L)	CLAS	5.65 GeV	Publié PRL
	(longitudinale)	TSA (L)	CLAS	5.9 GeV	Analyse en cours (IPNO)
		TBSA (L)	CLAS	5.9 GeV	Analyse en cours (IPNO)
$E(\pm\xi, \xi, t)$	$ed \rightarrow e(p)n\gamma$	$\Delta\sigma$	Hall A	5.75 GeV	Publié PRL (LPSC)
	$ed \rightarrow e(p)n\gamma$	BSA	CLAS	5.9 GeV	Analyse en cours (IPNO)
$\int GPDs(x, \xi, t) dx$	$ep(\mathbf{n}) \rightarrow ep\gamma(\mathbf{n})$	σ	Hall A	4.82/6 GeV	Analyse en cours (LPC)
$H_A(\pm\xi, \xi, t)$	$e^4\text{He} \rightarrow e^4\text{He}\gamma$	BSA	CLAS	5.9 GeV	Analyse en cours (LPSC)

**Toutes les expériences de DVCS
dans CLAS et dans le Hall A ont un porte-parole français**

5 publications avec premier auteur français sur l'électro-production exclusive des mésons

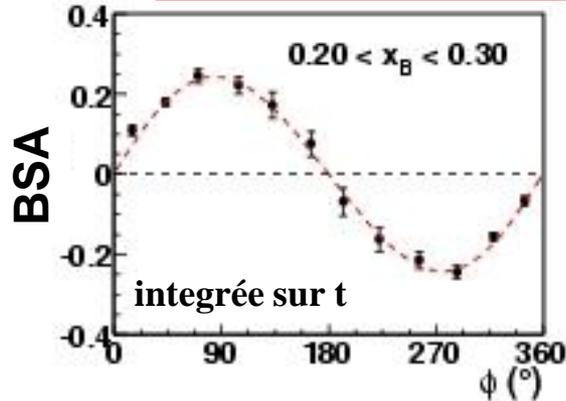
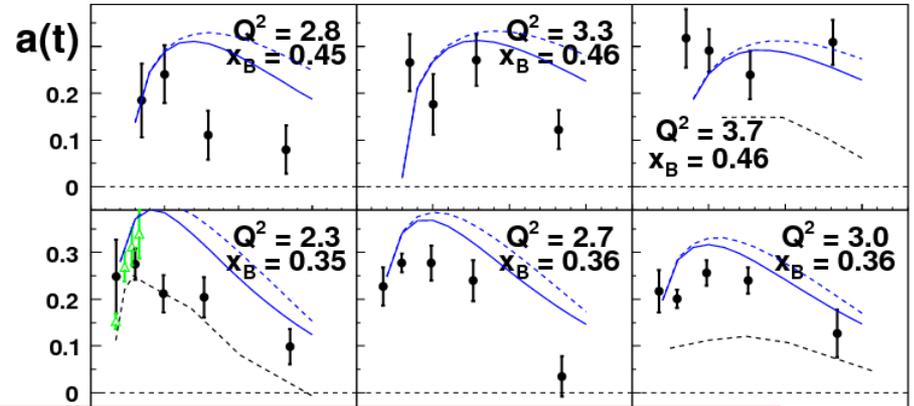
BSA pour pDVCS à CLAS (2005)



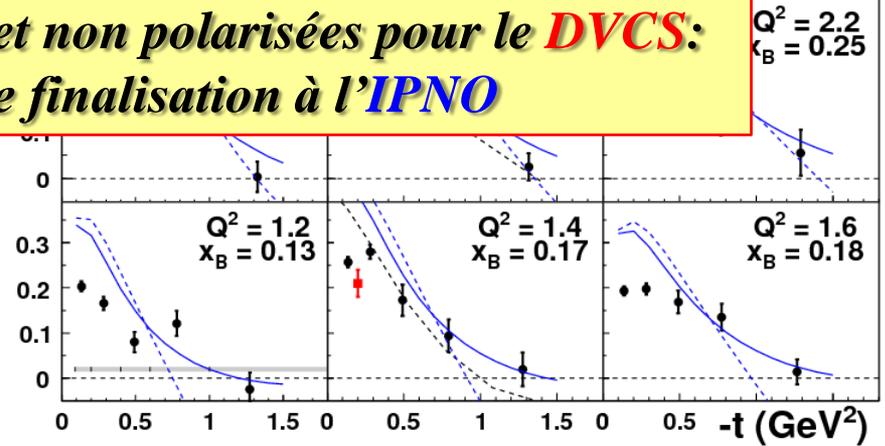
424 cristaux
Electronique

*Sections efficaces polarisées et non polarisées pour le DVCS:
analyses en cours de finalisation à l'IPNO*

$$\Delta\sigma_{LU} \sim \sin\phi \operatorname{Im}\{F_1\mathcal{H} + \xi(F_1+F_2)\tilde{\mathcal{H}} - kF_2\mathcal{E}\}d\phi$$



$$\text{Fit} = a \sin\phi / (1 + b \cos\phi)$$



- CLAS e1-dvcs
- ▲ Hall A
- CLAS @ 4.3 GeV²
- VGG(*) twist-2 (DD)
- - - VGG(*) twist-2 et 3
- Modèle de Regge(**)

F.X. Girod et al. (SPhN),
Phys. Rev. Lett. 100, 162002 (2008)

(*) Guidal, Polyakov, Radyushkin,
Vanderhaegen, PRD 72 (2005)

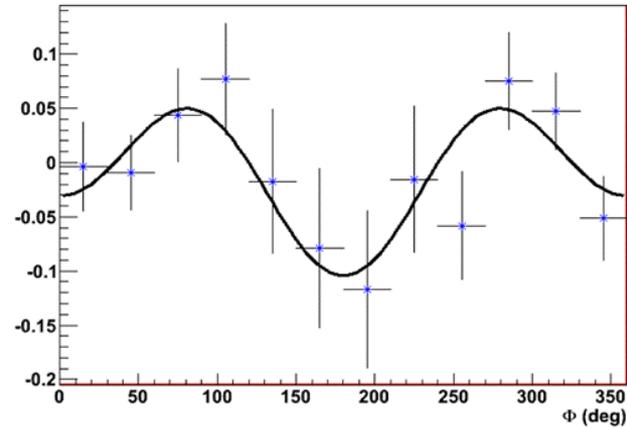
(**) Cano and Laget, PL B551 (2003)

TSA et TBSA pour pDVCS (2009)

- Cible polarisée de NH_3 (~80%) et ND_3 (~30%)

- IC pour la détection des photons émis aux petits angles

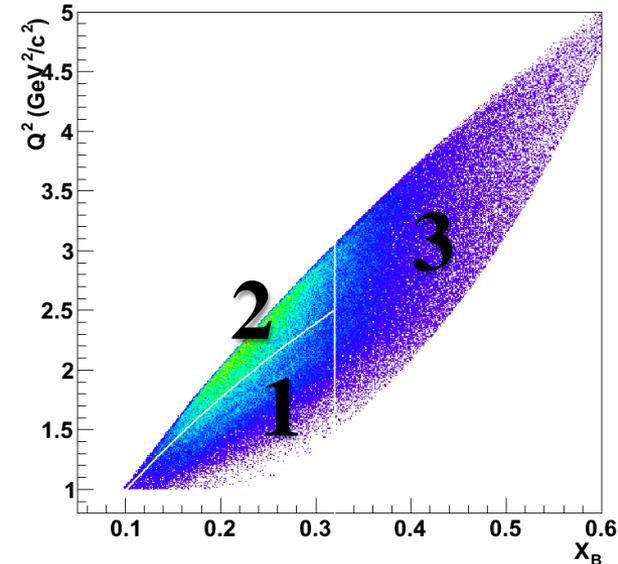
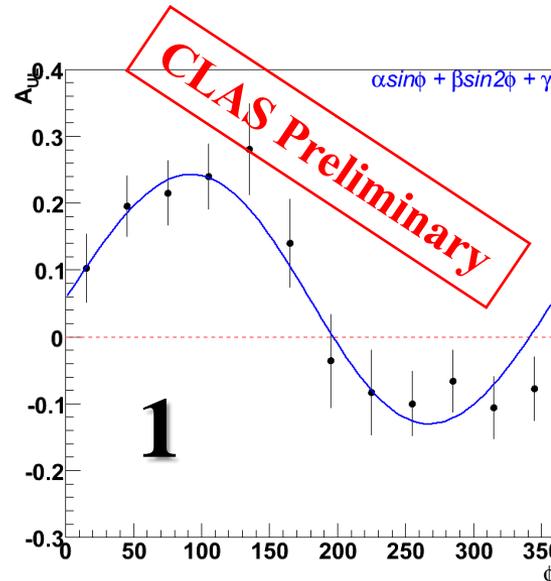
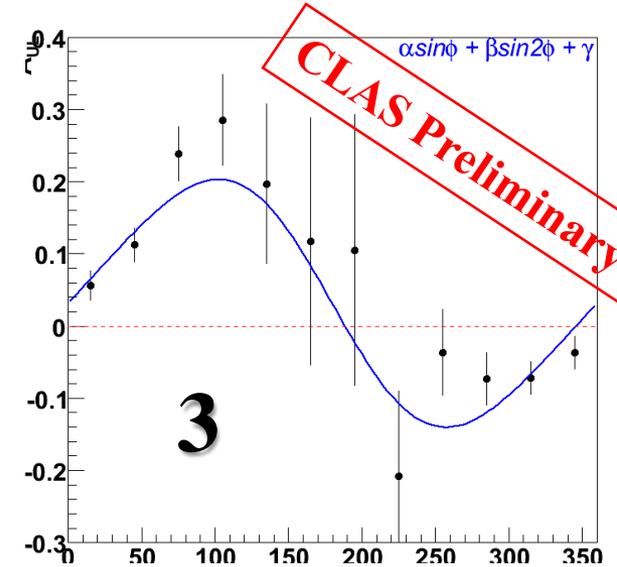
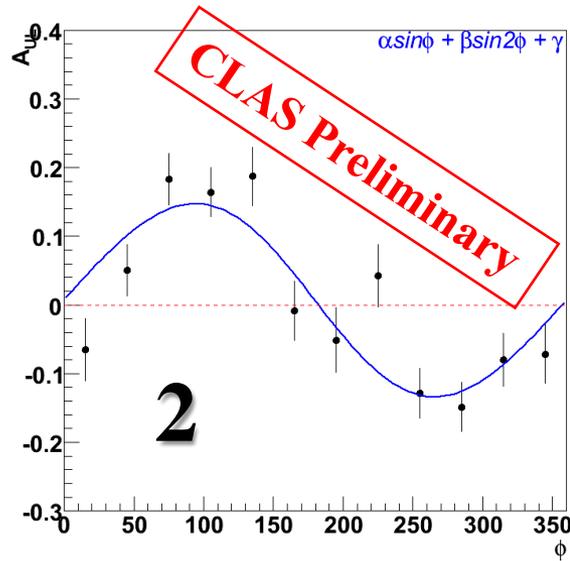
CLAS Preliminary



Analyse pour extraire la **double-asymétrie** (faisceau-cible) en cours à l'IPNO

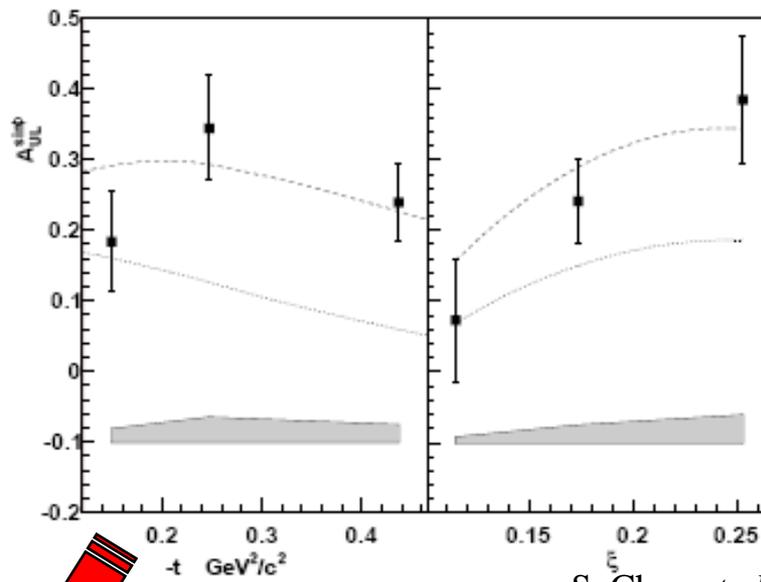
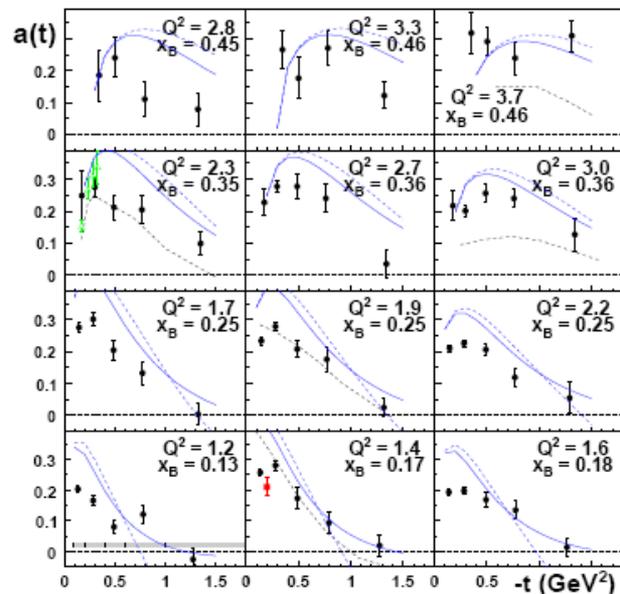
$$\Delta\sigma_{LL} \sim (A+B\cos\phi)\text{Re}\{F_1\tilde{\mathcal{H}}+\xi(F_1+F_2)(\mathcal{H}+x_B/2\mathcal{E})\dots\}d\phi$$

$$\Delta\sigma_{UL} \sim \sin\phi\text{Im}\{F_1\tilde{\mathcal{H}}+\xi(F_1+F_2)(\mathcal{H}+x_B/2\mathcal{E})-\xi kF_2\mathcal{E}+\dots\}d\phi$$



Qu'est-ce qu'on apprend des asymétries du DVCS de CLAS?

CLAS
pDVCS
BSAs

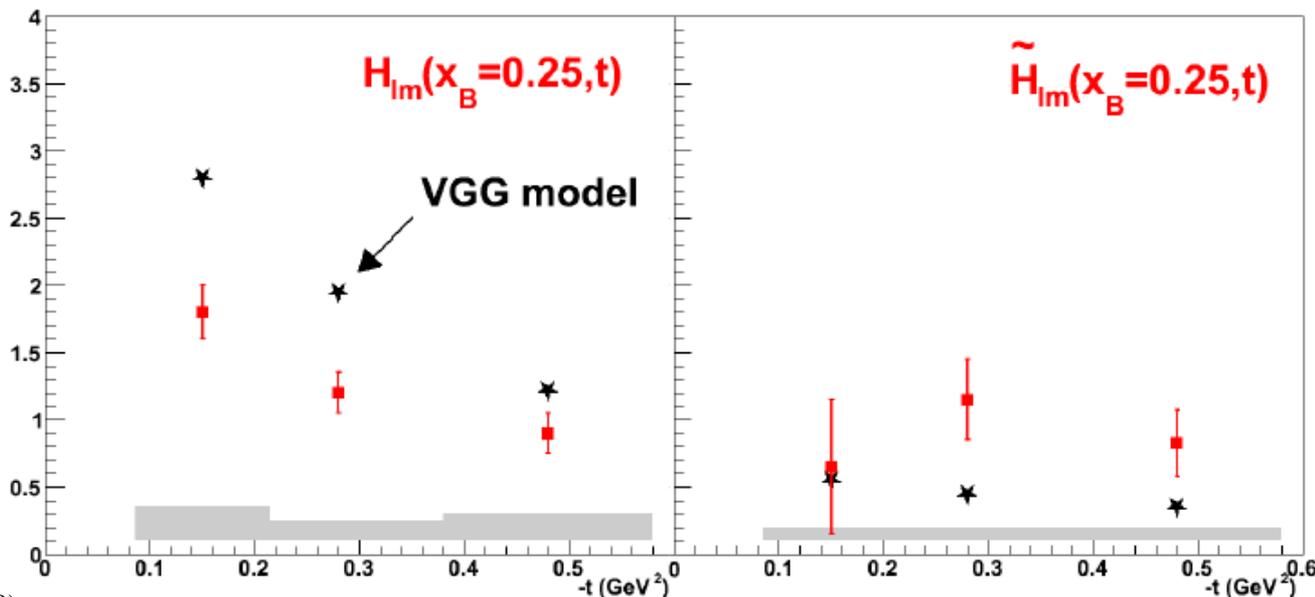


CLAS
pDVCS
TSAs

S. Chen *et al*,
PRL 97, 072002 (2006)

Extraction des GPDs par fit (indépendant de modèle) d'observables du DVCS à x_B, t, Q^2 fixées

La pente de $\text{Im}H$ est supérieure à celle de $\text{Im}\tilde{H}$: est-ce que la charge axiale est plus "concentrée" que la charge électromagnétique?



- Intérêt physique des GPDs et DVCS
- Résultats obtenus à JLab@6 GeV
- **L'upgrade à 12 GeV et CLAS12**
- Programme des mesures des GPDs à CLAS12
- nDVCS et le Central Neutron Detector

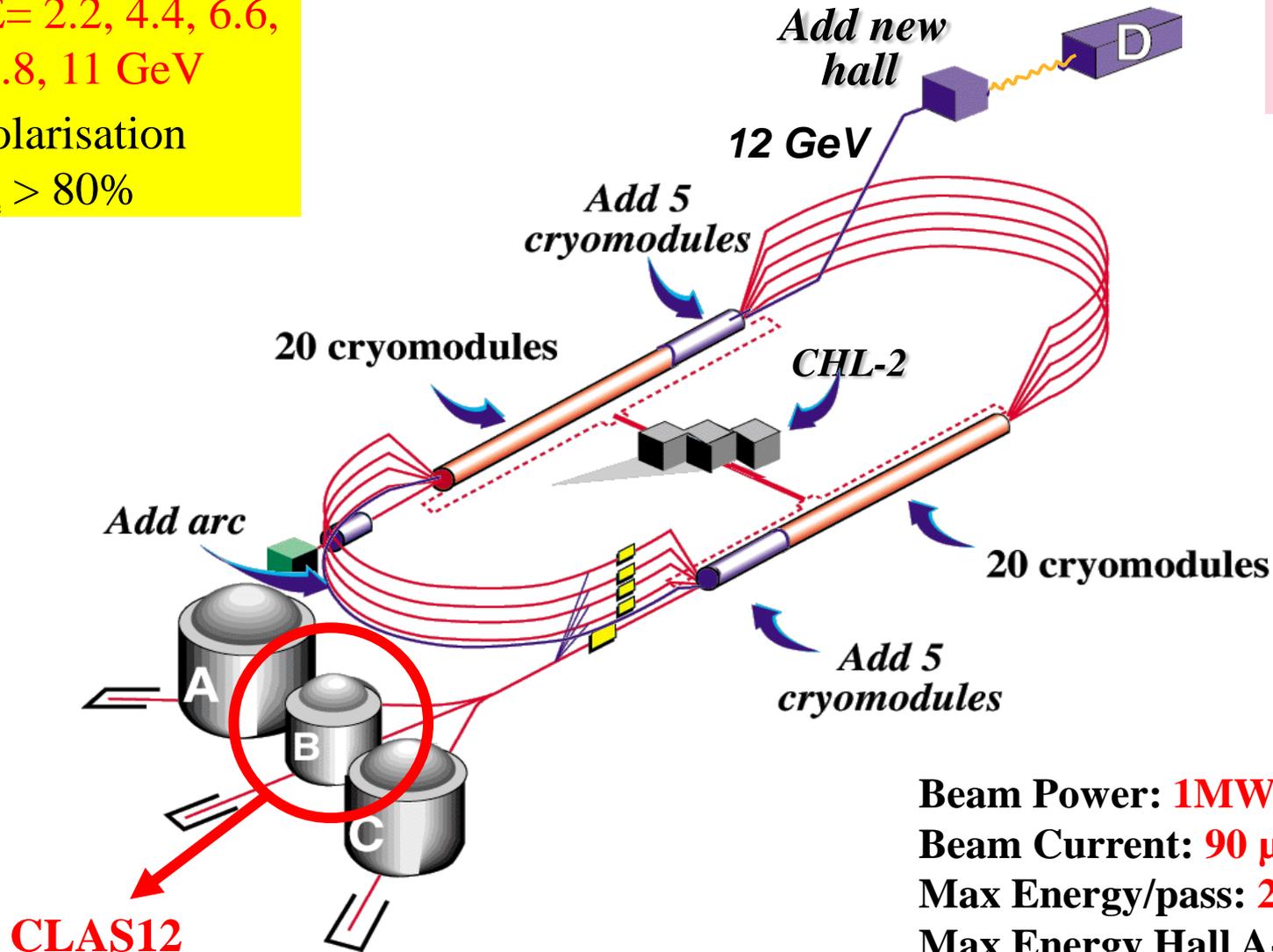
L'“upgrade” à 12 GeV de JLab

E= 2.2, 4.4, 6.6,
8.8, 11 GeV

Polarisation

$P_e > 80\%$

Continuous
Electron
Beam
Accelerator
Facility



Beam Power: **1MW**

Beam Current: **90 μ A**

Max Energy/pass: **2.2 GeV**

Max Energy Hall A-B-C: **11 GeV**

Max Energy Hall D: **12 GeV**

Hall B @ 12 GeV: CLAS12

Luminosité
 $L \sim 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Acceptance pour les particules chargées:

- Central (CD), $40^\circ < \theta < 135^\circ$
- Forward (FD), $5^\circ < \theta < 40^\circ$

Acceptance pour les photons:

- IC $2^\circ < \theta < 5^\circ$
- EC, $5^\circ < \theta < 40^\circ$

**Haute luminosité et large
acceptance :**

Mesures simultanées
de réactions **exclusives**,
semi-inclusives,
et **inclusives**

**Central
Detector**

CTOF

SVT

Solenoid

HTCC

Torus

Region 3

Region 2

Region 1

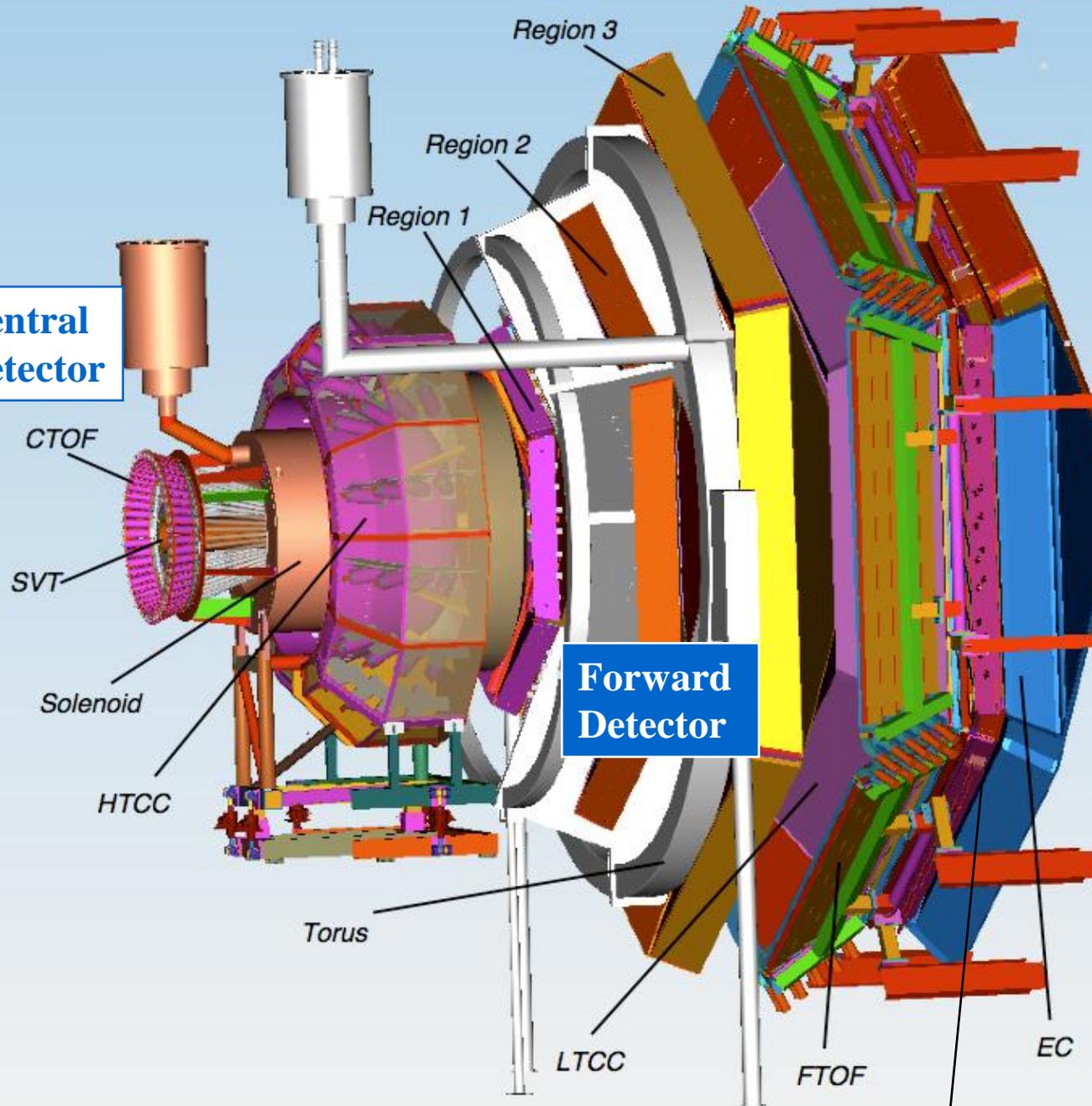
**Forward
Detector**

LTCC

FTOF

PCAL

EC



Hall B @ 12 GeV: CLAS12

Forward Detector:

- TORUS magnet
- Forward tracker
- HT Cherenkov Counter
- Drift chambers (3 regions)
- LT Cherenkov Counter
- Forward ToF System
- Preshower calorimeter
- E.M. calorimeter (EC)
- Inner Calorimeter (IC, not shown)

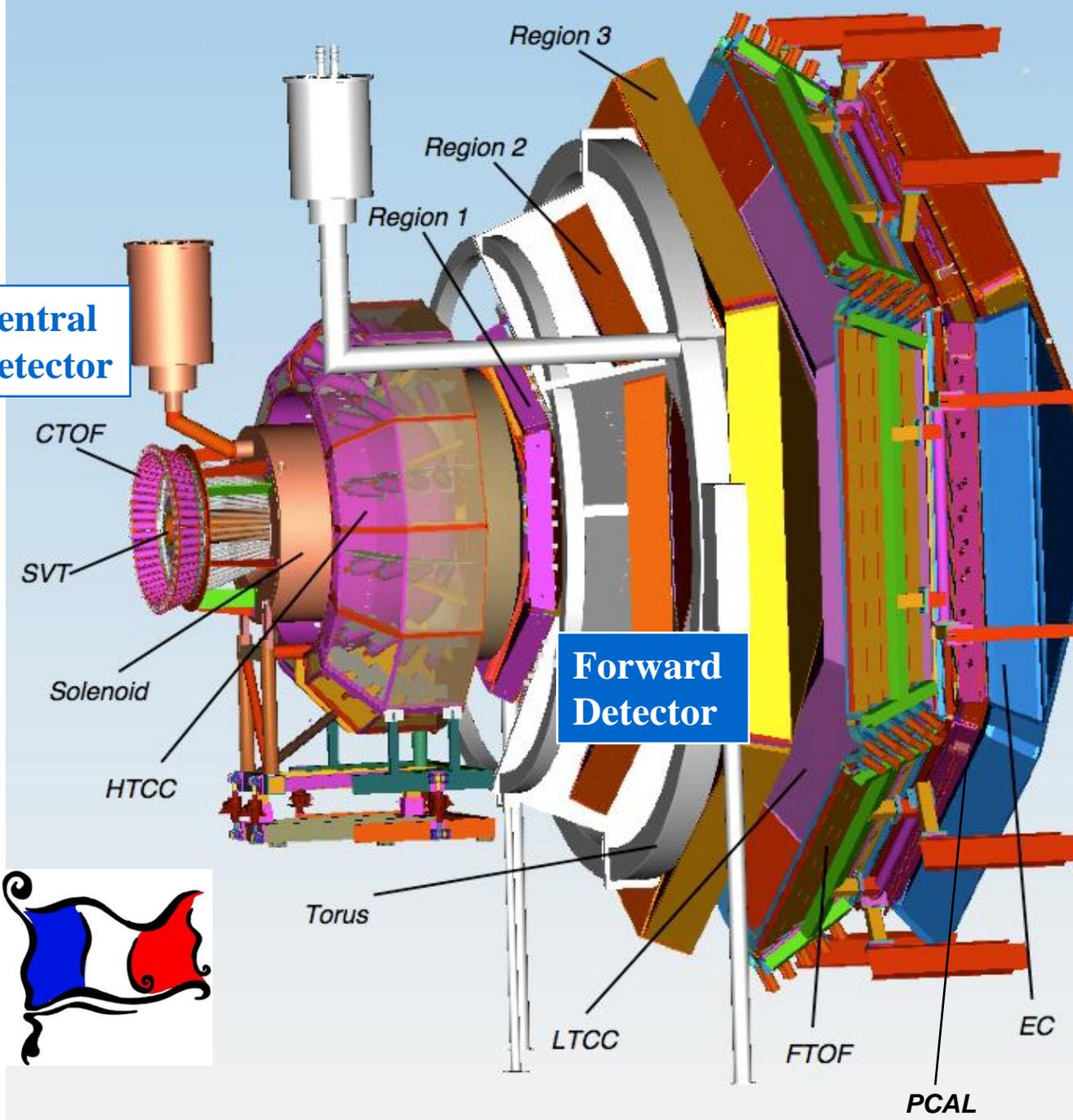
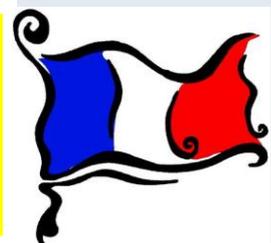
Central Detector:

- SOLENOID magnet
- Barrel Silicon Tracker
- Central Time-of-Flight

- Micromegas (SPhN)
- Central Neutron Detector
- (IPNO)

Central
Detector

Forward
Detector



- Intérêt physique des GPDs et DVCS
- Résultats obtenus à JLab@6 GeV
- L'upgrade à 12 GeV et CLAS12
- **Programme des mesures des GPDs à CLAS12**
- nDVCS et le Central Neutron Detector

pDVCS: BSA et TSA avec CLAS12 et faisceau à 11 GeV Q^2

(F. Sabatié, SPhN, porte-parole)

85 jours de faisceau

$$P_{\text{beam}} = 85\%$$

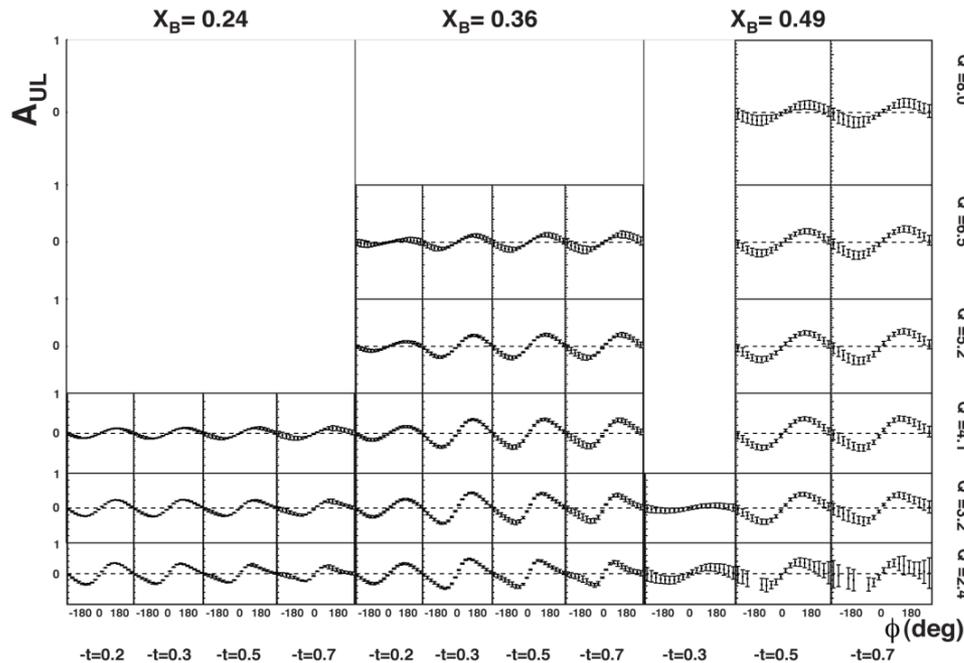
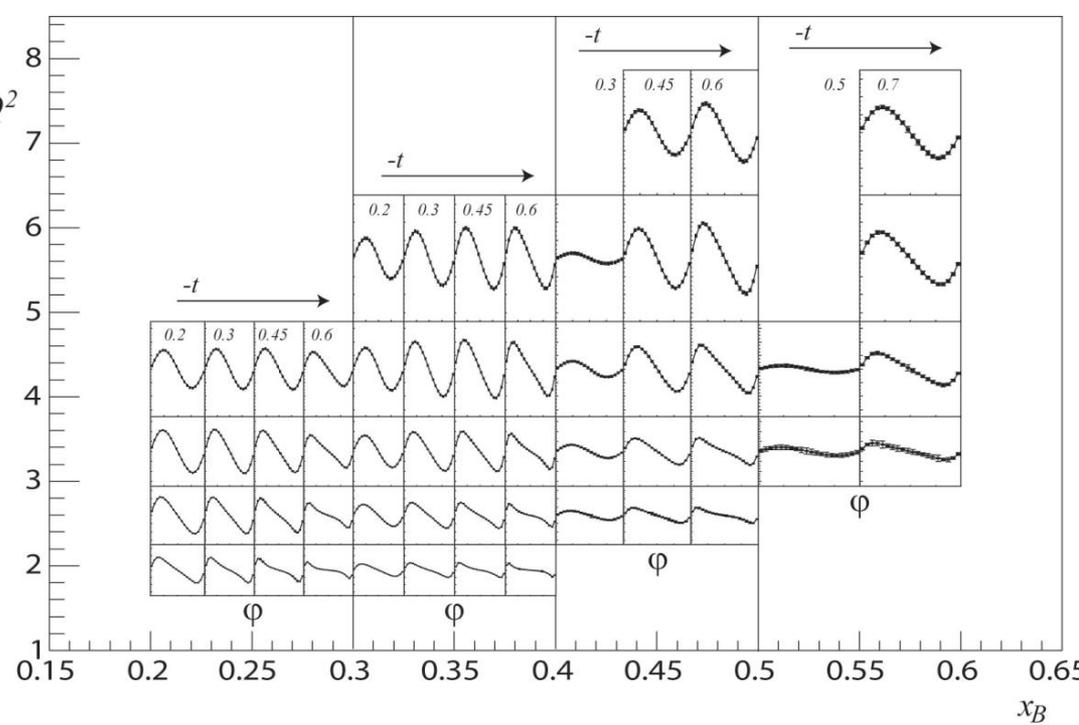
$$L = 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

$$1 < Q^2 < 10 \text{ GeV}^2$$

$$0.1 < x_B < 0.65$$

$$-t_{\text{min}} < -t < 2.5 \text{ GeV}^2$$

Erreurs systématiques : ~6-8%



120 jours de faisceau

$$P_{\text{beam}} = 85\%, P_{\text{target}} = 80\%$$

$$L = 2 \cdot 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

$$1 < Q^2 < 10 \text{ GeV}^2$$

$$0.1 < x_B < 0.65$$

$$-t_{\text{min}} < -t < 2.5 \text{ GeV}^2$$

Erreurs systématiques : ~6-8%

pDVCS: BSA et TSA avec CLAS12 et faisceau à 11 GeV Q^2

(F. Sabatié, SPhN, porte-parole)

85 jours de faisceau

$P_{\text{beam}} = 85\%$

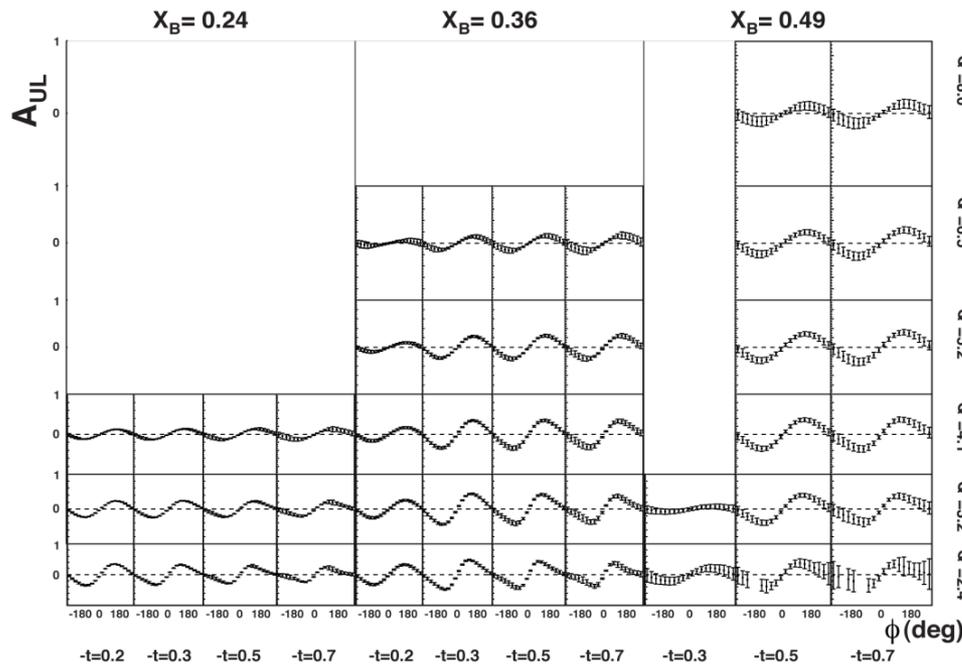
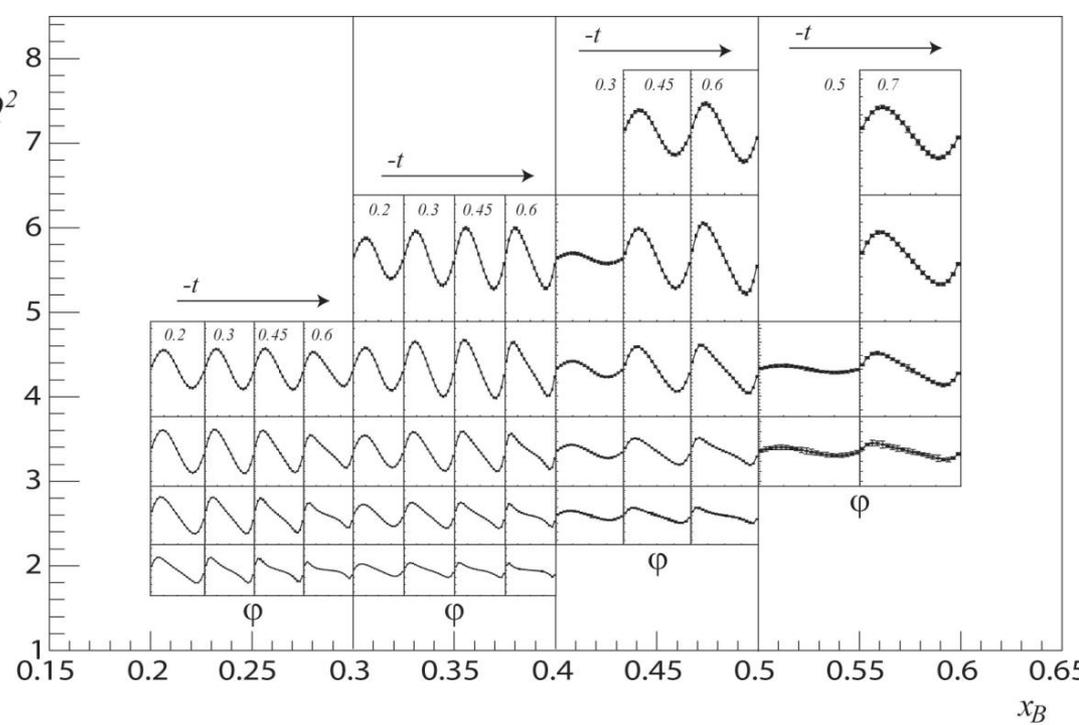
$L = 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

$1 < Q^2 < 10 \text{ GeV}^2$

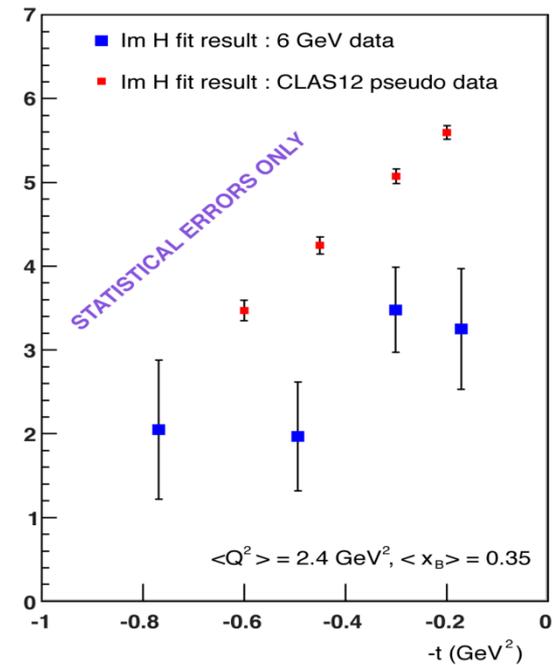
$0.1 < x_B < 0.65$

$-t_{\text{min}} < -t < 2.5 \text{ GeV}^2$

Erreurs systématiques : $\sim 6\text{-}8\%$



Impact des données de CLAS12 pour la BSA du pDVCS sur des fits pour extraire Im(H)



- Intérêt physique des GPDs et DVCS
- Résultats obtenus à JLab@6 GeV
- L'upgrade à 12 GeV et CLAS12
- Programme des mesures des GPDs à CLAS12
- **nDVCS et le Central Neutron Detector**

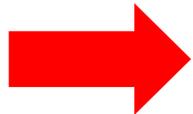
DVCS sur le neutron : motivation

Les GPDs dépendent de la **saveur des quarks**:

Les GPDs du proton et du neutron sont des combinaisons linéaires des GPDs des quarks

$$\begin{aligned}(\mathbf{H}, \mathbf{E})_p(\xi, \xi, t) &= 4/9 (\mathbf{H}, \mathbf{E})_u(\xi, \xi, t) + 1/9 (\mathbf{H}, \mathbf{E})_d(\xi, \xi, t) \\ (\mathbf{H}, \mathbf{E})_n(\xi, \xi, t) &= 1/9 (\mathbf{H}, \mathbf{E})_u(\xi, \xi, t) + 4/9 (\mathbf{H}, \mathbf{E})_d(\xi, \xi, t)\end{aligned}$$

Une analyse combinée des observables du DVCS sur cible de **proton et de neutron** est nécessaire pour la **séparation en saveur** des GPDs



$$\begin{aligned}(\mathbf{H}, \mathbf{E})_u(\xi, \xi, t) &= 9/15[4(\mathbf{H}, \mathbf{E})_p(\xi, \xi, t) - (\mathbf{H}, \mathbf{E})_n(\xi, \xi, t)] \\ (\mathbf{H}, \mathbf{E})_d(\xi, \xi, t) &= 9/15[4(\mathbf{H}, \mathbf{E})_n(\xi, \xi, t) - (\mathbf{H}, \mathbf{E})_p(\xi, \xi, t)]\end{aligned}$$

Nous initierons le programme expérimental de JLab sur le DVCS sur le neutron à 11 GeV, en mesurant son *asymétrie de spin-faisceau (BSA)*

$$\Delta\sigma_{LU} \sim \sin\phi \operatorname{Im}\{F_1\mathcal{H} + \xi(F_1+F_2)\tilde{\mathcal{H}} - kF_2\mathcal{E}\}d\phi \quad \Longrightarrow \quad \operatorname{Im}\{\mathcal{H}_n, \tilde{\mathcal{H}}_n, \mathcal{E}_n\}$$

La **BSA** du **nDVCS** est sensible à la GPD **E**, qui est la **moins connue** et **moins contrainte** des GPDs et qui apparaît dans la **règle de somme de Ji** $\rightarrow \mathbf{J}_u, \mathbf{J}_d$

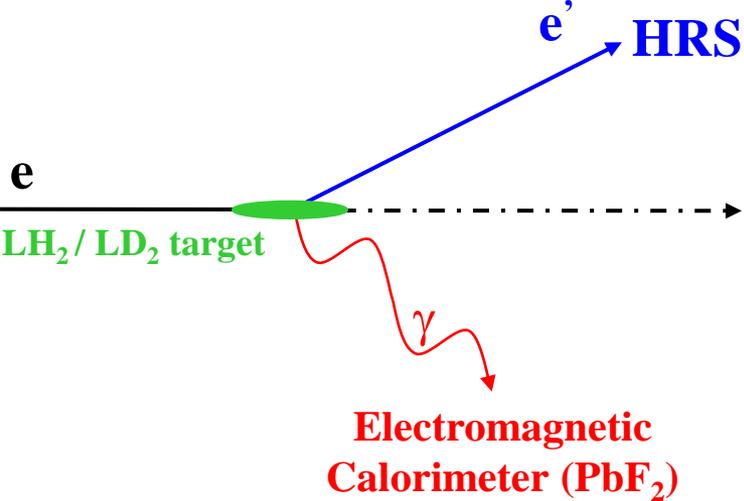
Première mesure de nDVCS: Hall A

M. Mazouz et al., PRL 99 (2007) 242501

LPSC Grenoble

$E_e = 5.75 \text{ GeV}/c$ $P_e = 75 \%$

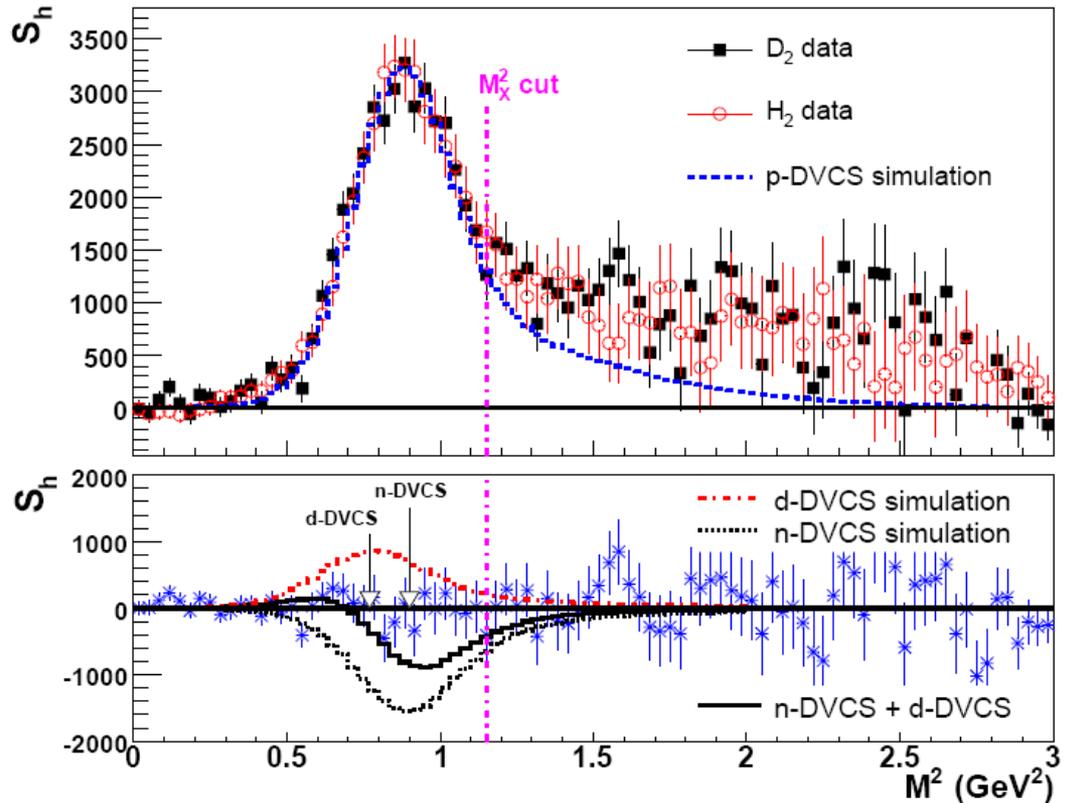
$L = 4 \cdot 10^{37} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}/\text{nucleon}$



Nucléon actif identifié
par masse manquante

$Q^2 = 1.9 \text{ GeV}^2$
 $x_B = 0.36$
 $0.1 \text{ GeV}^2 < -t < 0.5 \text{ GeV}^2$

Soustraction de la contribution
du **proton** en utilisant les
données prises sur H₂
convolués avec **mouvement de
Fermi** du nucléon



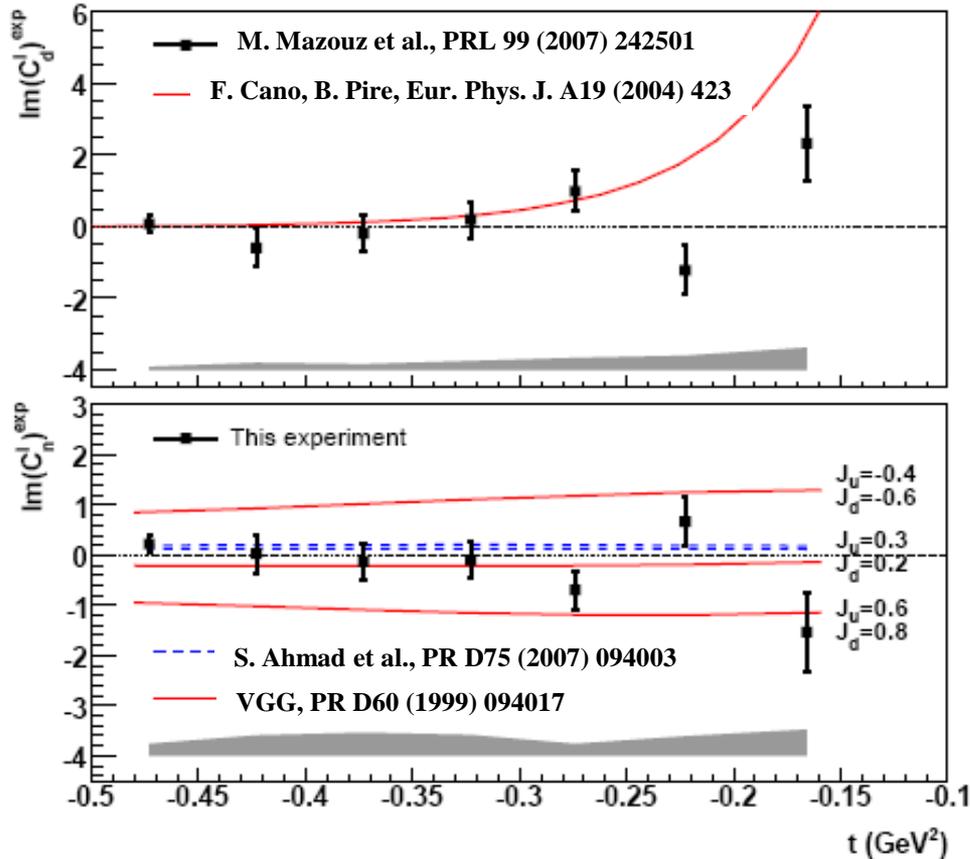
“Impulse approximation” (pas de FSI)

$$D(e, e' \gamma) X = p(e, e' \gamma) p + n(e, e' \gamma) n + d(e, e' \gamma) d + \dots$$

$$\frac{d^5 \Sigma_{D-H}}{d^5 \Phi} = \frac{1}{2} \left[\frac{d^5 \sigma^+}{d^5 \Phi} - \frac{d^5 \sigma^-}{d^5 \Phi} \right] \quad \text{Twist-2}$$

$$= \left(\Gamma_d^{\mathfrak{S}} \Im m [C_d^I]^{exp} + \Gamma_n^{\mathfrak{S}} \Im m [C_n^I]^{exp} \right) \sin(\phi_{\gamma\gamma})$$

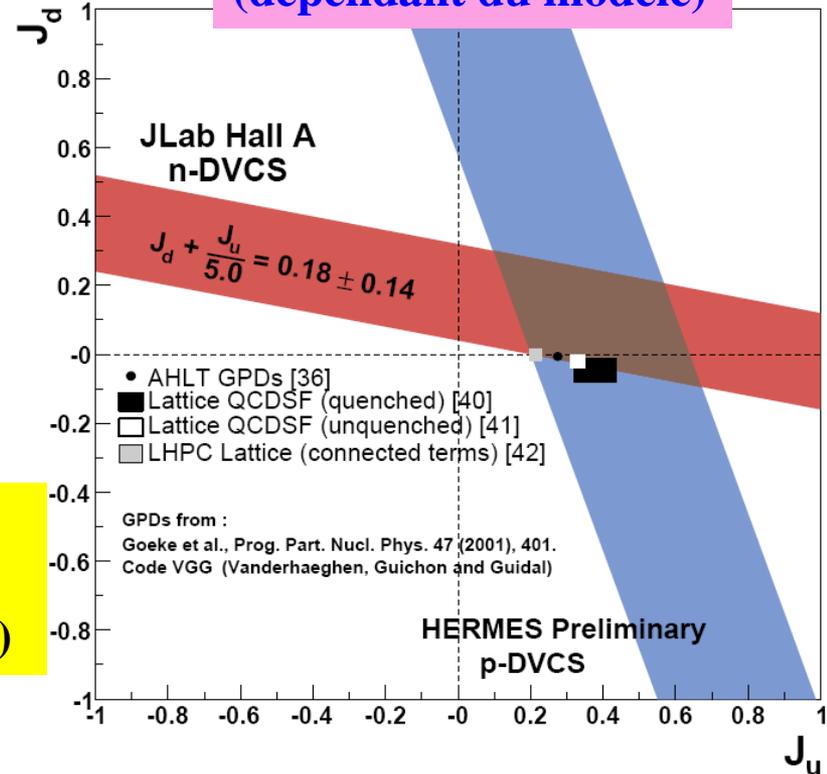
nDVCS in Hall A: résultats



$Q^2 = 1.9 \text{ GeV}^2 - x_B = 0.36$

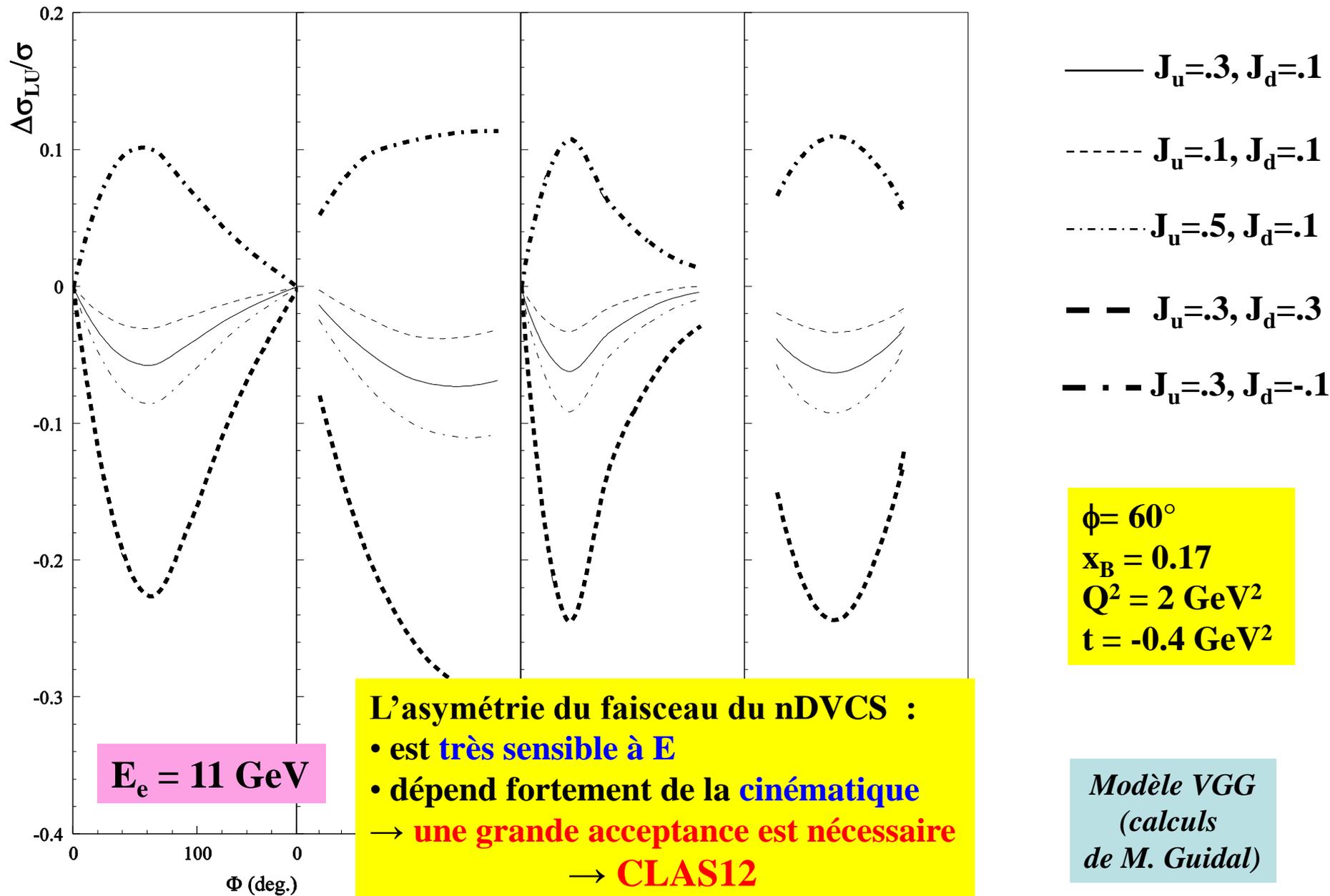
$$[C_n^I]^{\text{exp}} \simeq [C_n^I] = F_1 \mathcal{H} + \xi(F_1 + F_2) \tilde{\mathcal{H}} - \frac{t}{4M^2} F_2 \mathcal{E}$$

Extraction de J_u et J_d
(dépendant du modèle)



Im(C_n^I) compatible avec zéro (→ x_B trop grand?)
Grandes erreurs statistiques et systématiques
(dus surtout à la soustraction du H₂ et du fond π⁰)

BSA pour nDVCS à 11 GeV: sensibilité à E

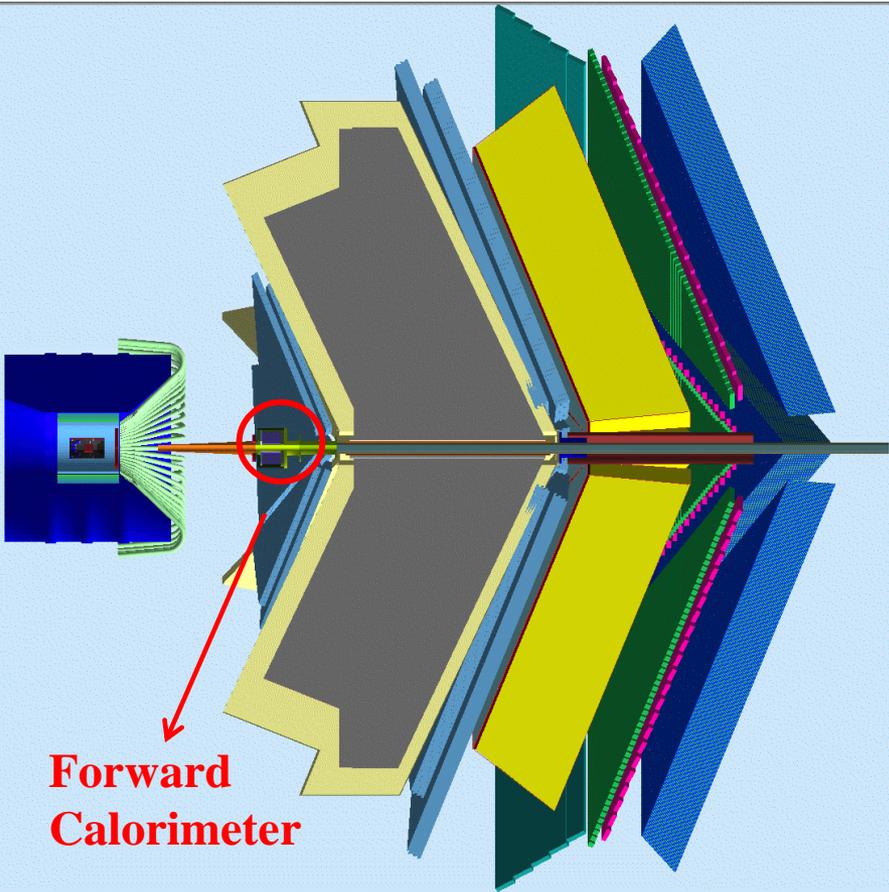
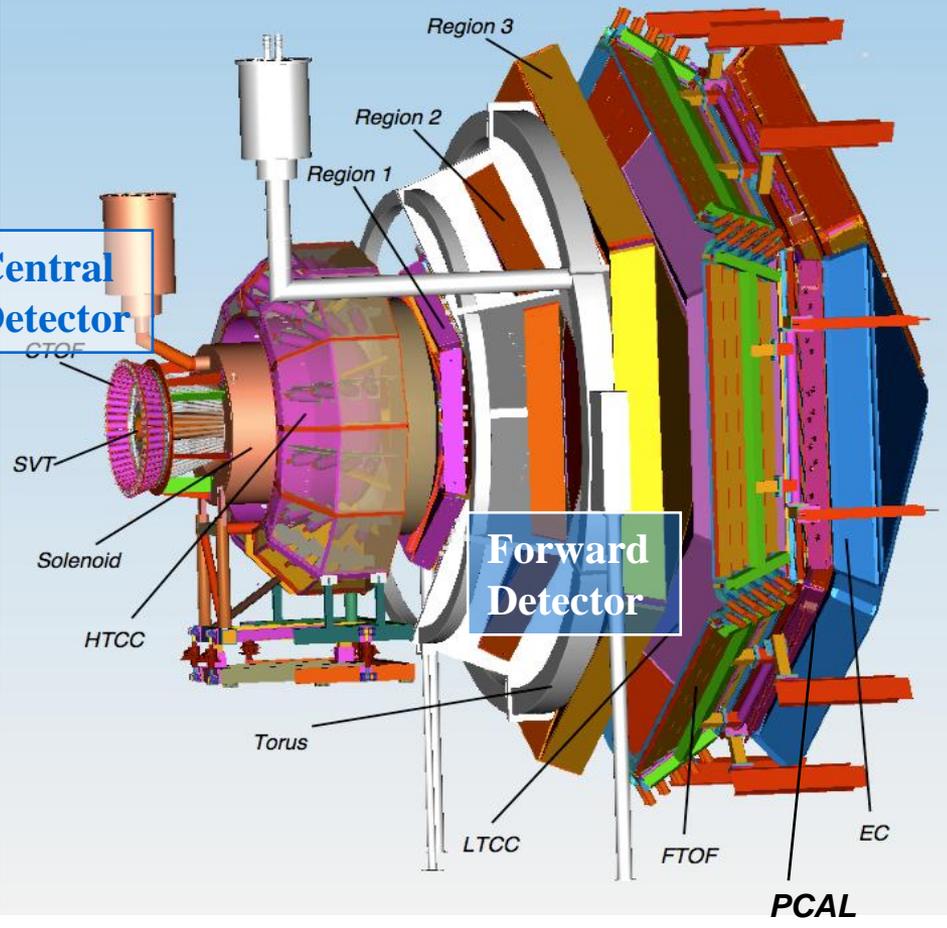


“DVCS setup” : CLAS12 + Forward Calorimeter

Pour la détection de
l'électron diffusé et du
photon du DVCS

Central
Detector

Forward
Detector



Forward
Calorimeter

Acceptance pour particules
chargées :

- Central (CD), $40^\circ < \theta < 135^\circ$
- Forward (FD), $5^\circ < \theta < 40^\circ$

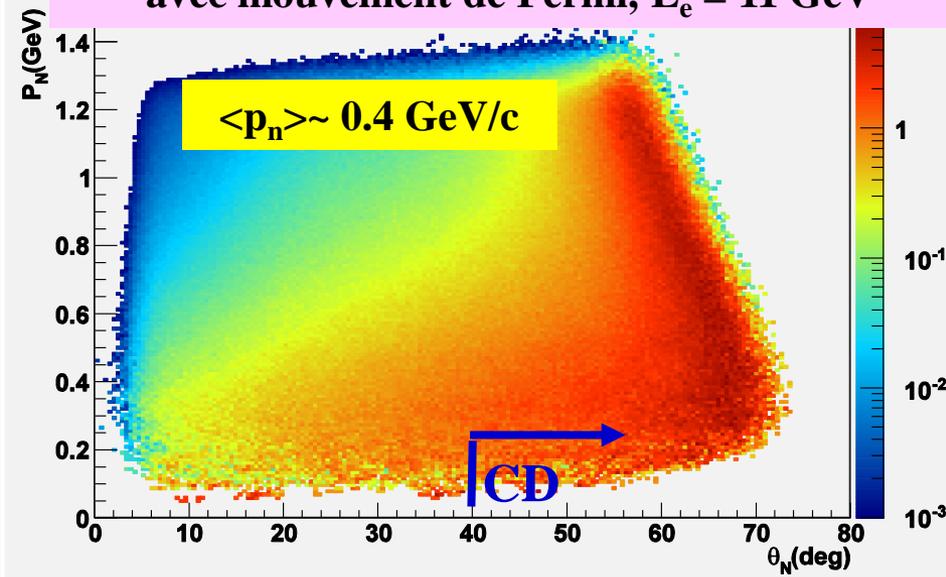
Acceptance pour les photons:

- FC $2.5^\circ < \theta < 5^\circ$
- EC, $5^\circ < \theta < 40^\circ$

*...et le
neutron?*

Cinématique du nDVCS avec CLAS12

Générateur d'événements DVCS/Bethe-Heitler avec mouvement de Fermi, $E_e = 11$ GeV

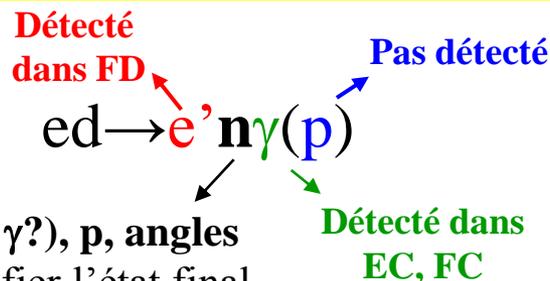


Coupsures appliquées (acceptance et validité GPDs):

$$W > 2 \text{ GeV}, Q^2 > 1 \text{ GeV}^2, -t < 1.2 \text{ GeV}^2$$

$$5^\circ < \theta_e < 40^\circ, 2.5^\circ < \theta_\gamma < 40^\circ$$

Plus de 80% des neutrons ont $\theta > 40^\circ$
 → Détecteur de neutrons dans le CD est nécessaire!

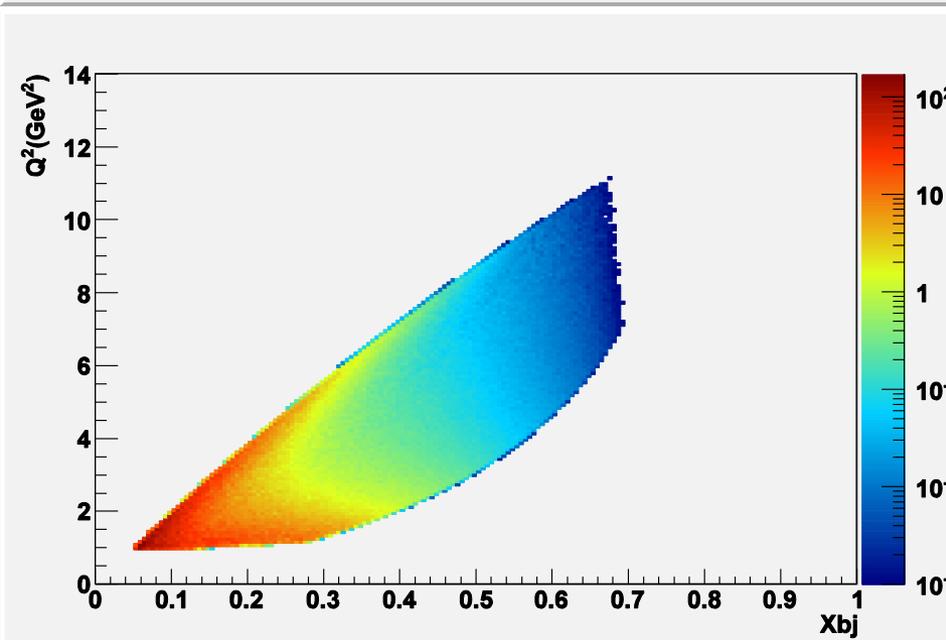


PID (n ou γ ?), p, angles pour identifier l'état final

$$\mathbf{p}_e^\mu + \mathbf{p}_n^\mu + \mathbf{p}_p^\mu = \mathbf{p}_{e'}^\mu + \mathbf{p}_{n'}^\mu + \mathbf{p}_{p'}^\mu + \mathbf{p}_\gamma^\mu$$

Dans l'hypothèse d'absence de FSI:

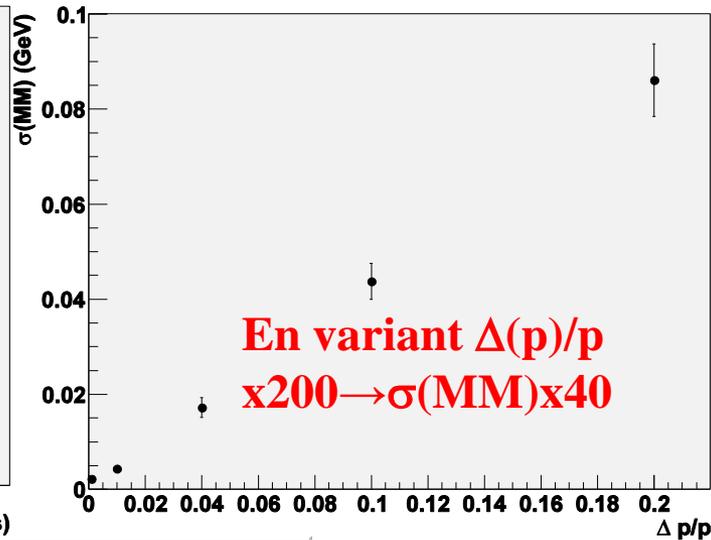
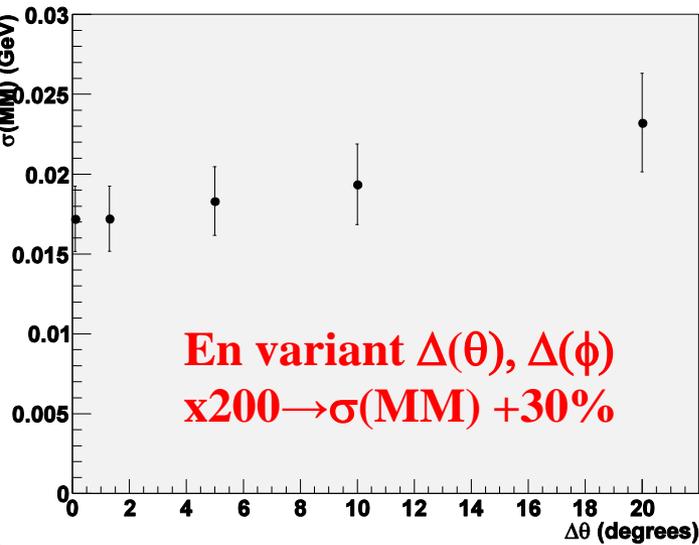
$$\mathbf{p}_p^\mu = \mathbf{p}_{p'}^\mu \rightarrow \text{cinématique complète en détectant } e', n(p, \theta, \phi), \gamma$$



Les effets dus aux FSI peuvent être estimés en mesurant $en\gamma$, $ep\gamma$, $ed\gamma$ sur le deutéron dans cette même expérience

Central Neutron Detector : performances requises

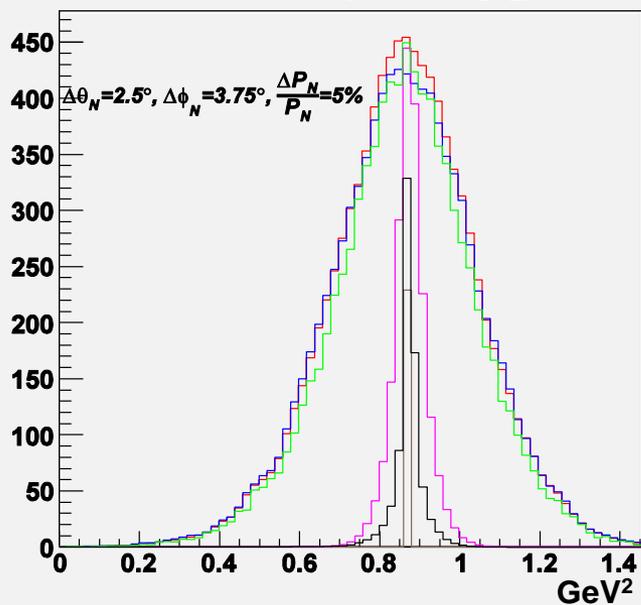
Générateur d'événements nDVCS avec « smearing » sur les variables cinématiques du neutron. Etude de l'impact sur $MM(en\gamma)$ des résolutions sur le neutron



MM(en γ) est :

- très peu sensible aux résolutions angulaires
- plus sensible à la résolution d'impulsion

$Mm^2(ed \rightarrow en \gamma [X])$



« Smearing »
 sur
 $e \gamma n$ $e \gamma e n$

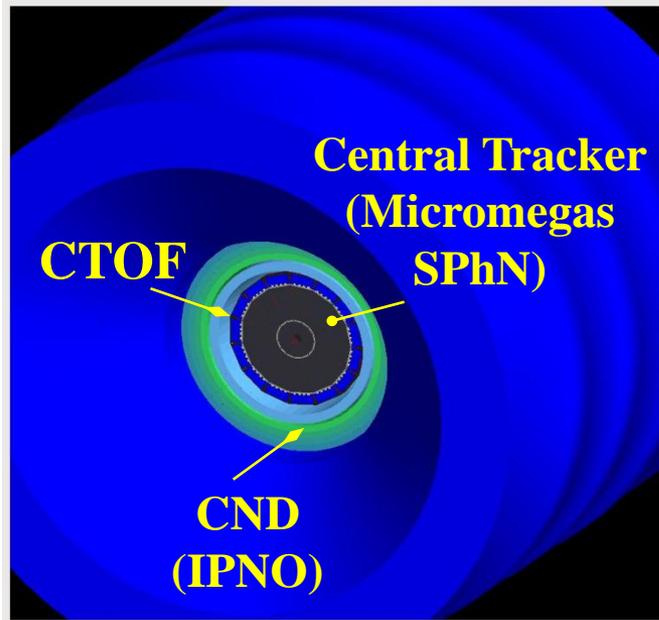
Résolution
 du photon :
 94% of
 $\sigma(MM)$

Générateur d'événements nDVCS +
 résolutions sur électron et photon obtenues
 avec FastMC de CLAS12 + « design specs » du
 Forward Calorimeter

→ Le CND doit assurer:

- bonne identification des neutrons ayant $0.2 < p_n < 1.2$ GeV/c $\rightarrow \sigma(\text{TOF}) \sim 150$ ps pour séparer n et γ par mesure de β
- résolution sur l'impulsion $\leq 10\%$
- pas de fortes contraintes sur les résolutions angulaires

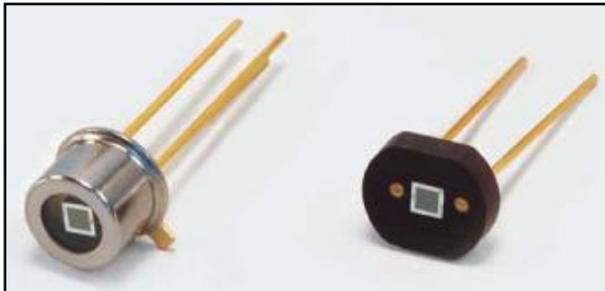
CND : constraints et études de R&D



- **CTOF** peut aussi détecter les neutrons (3% efficacité)
- Central Tracker (SVT+MM): **véto pour particules chargées**
 - espace disponible **limité** (~10 cm d'épaisseur)
 - efficacité limitée
 - pas d'espace pour guides de lumière à l'avant
 - **fort champ magnétique** (~5 T) → problèmes pour lecture lumière

~ 2 ans d'études R&D (IPNO, INFN Genova et Frascati)
Trois types de **photo-détecteurs** testés

Silicon PMs: surface active trop petite
→ Trop peu de photons → $\sigma_t \propto 1/\sqrt{N_\gamma}$ trop grande



APDs:

- Trop bruyants
- $\sigma_t \sim 1.5$ ns

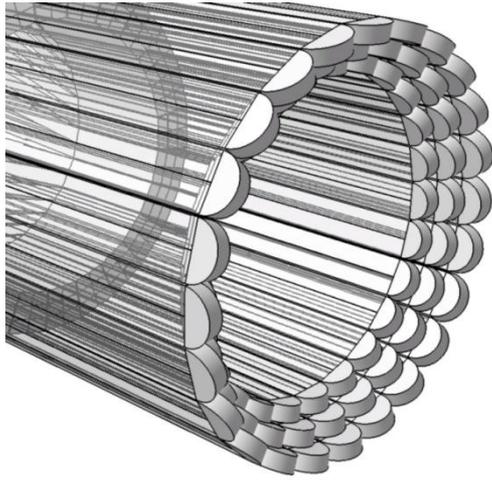
Micro-channel-plate PMs:

- Bonne résolution $\sigma_t \sim 100$ ps
- Perte de gain en champ B ~ 1T
- Courte durée de vie en radiations

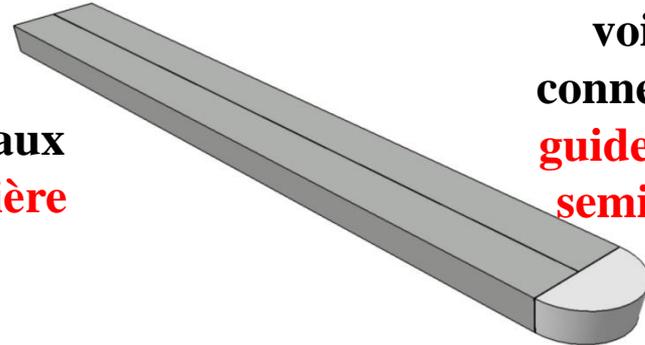


Solution choisie pour le CND

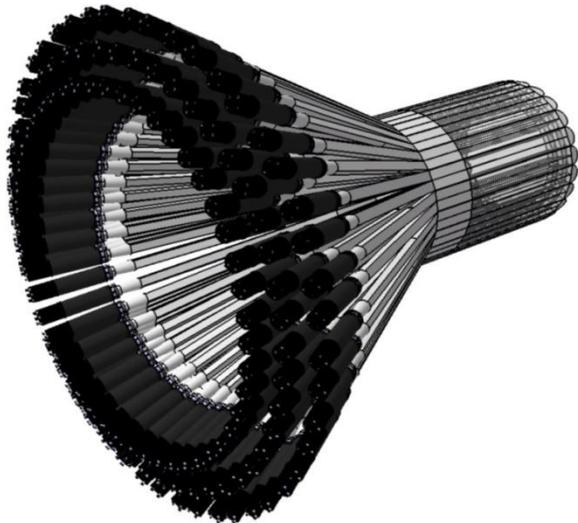
CND: tonneau de scintillateurs - 3 couches radiales, 48 barreaux par couche couplés deux-par-deux avec un guide de lumière "u-turn"



Un des deux barreaux est le guide de lumière pour l'autre

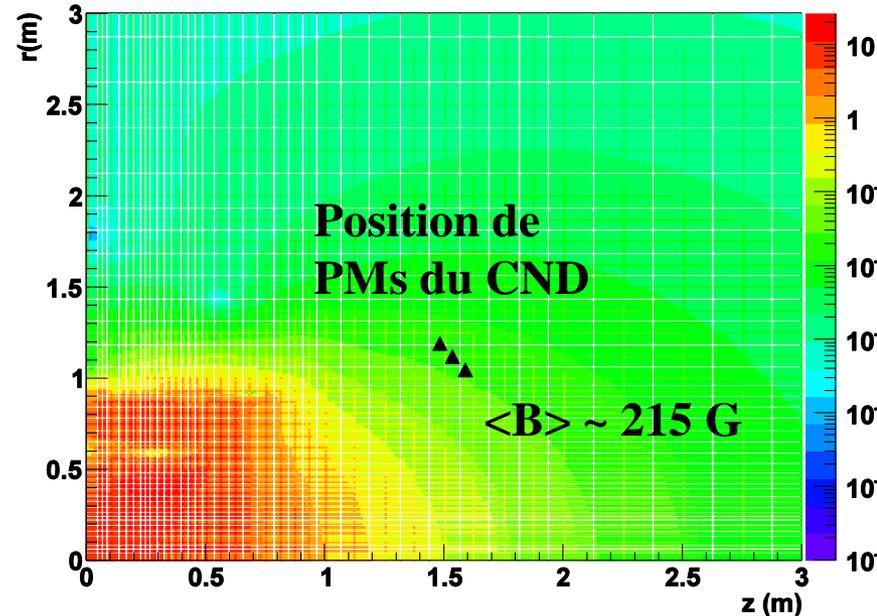


Les barreaux voisins sont connectés par un guide de lumière semi-circulaire



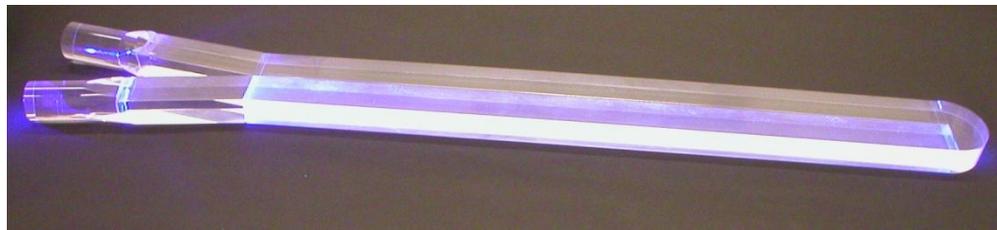
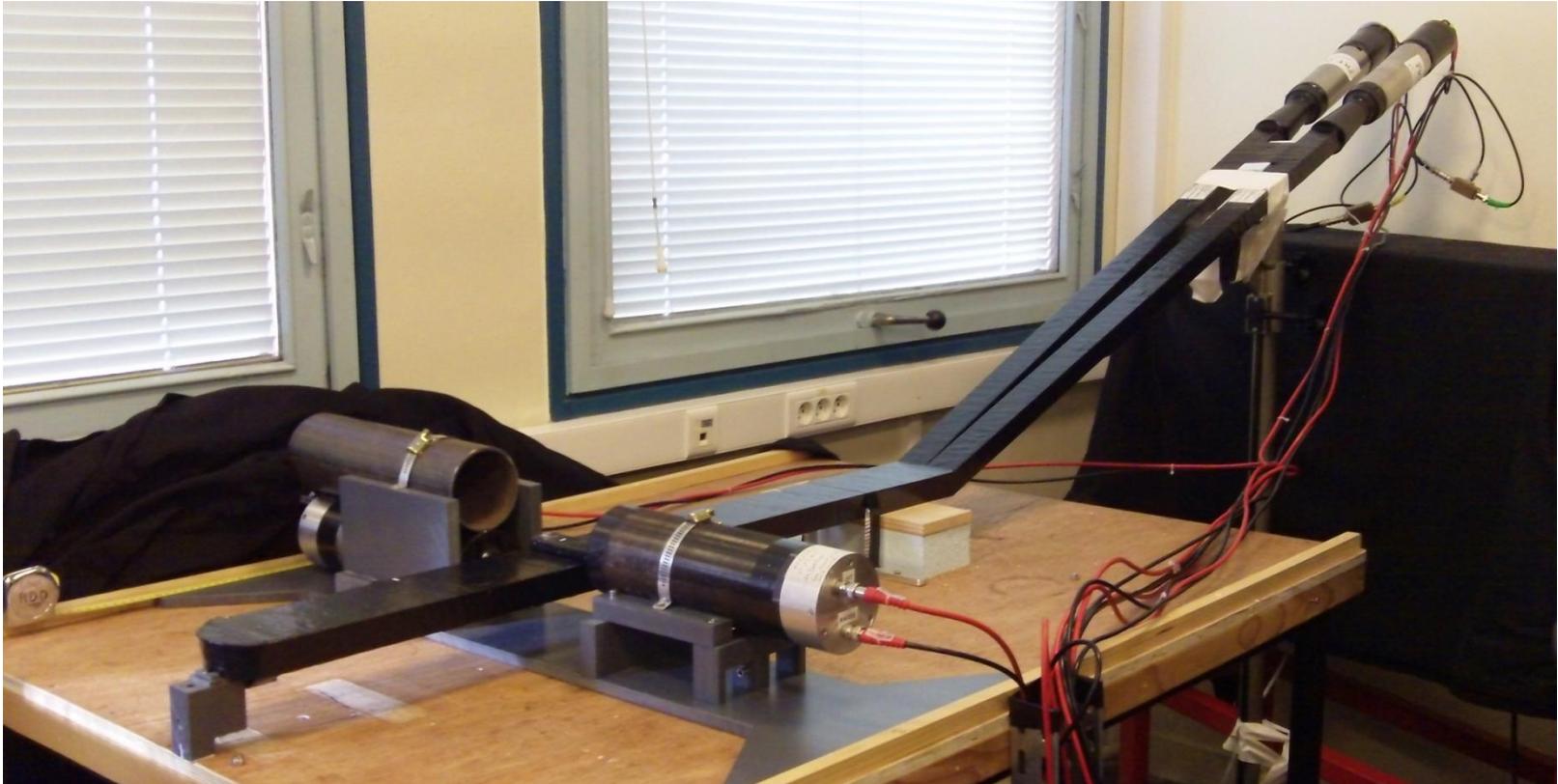
La lumière sort **seulement du côté arrière du CND**, traverse des guides de lumière (1.5m) menant aux PMs, placés **hors de la région à fort champ magnétique**

Absolute value of the field (T)



Banc de test à Orsay

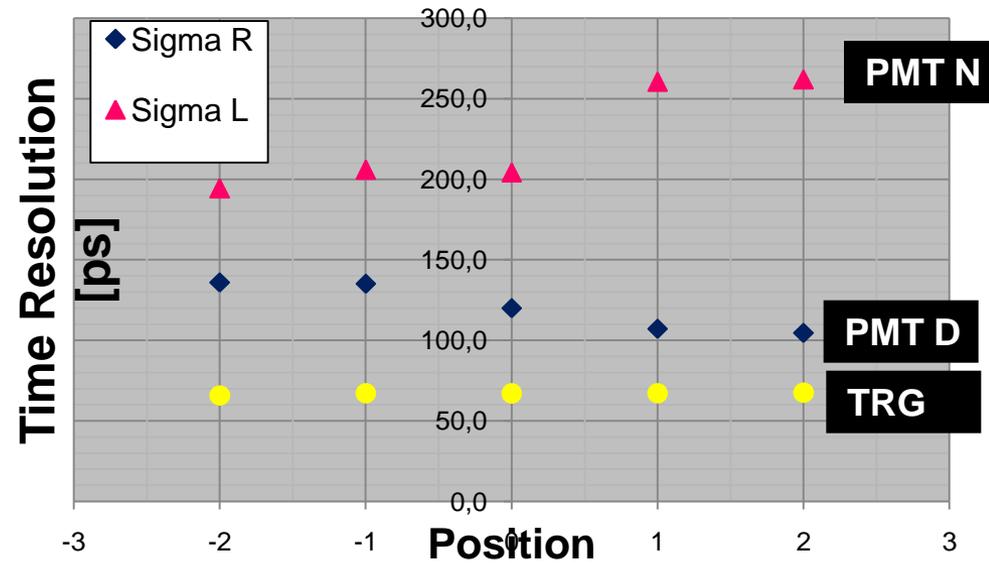
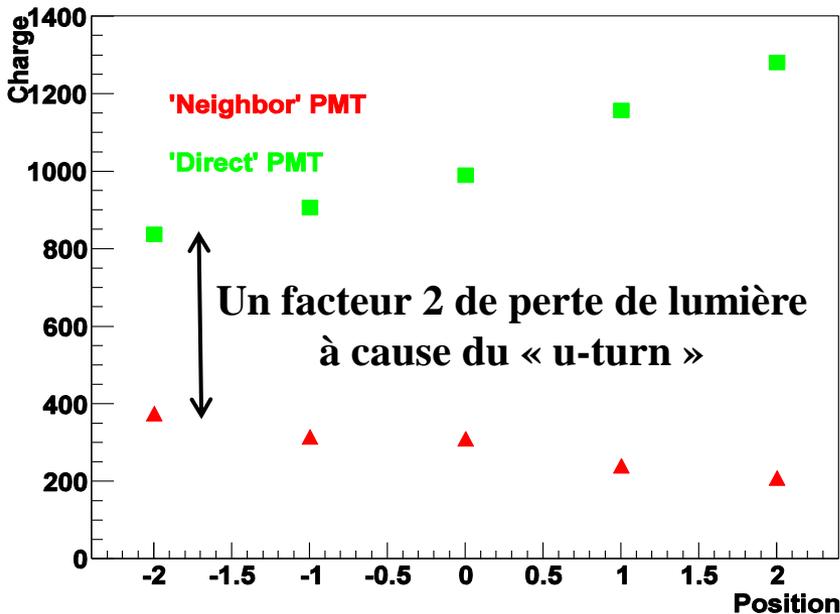
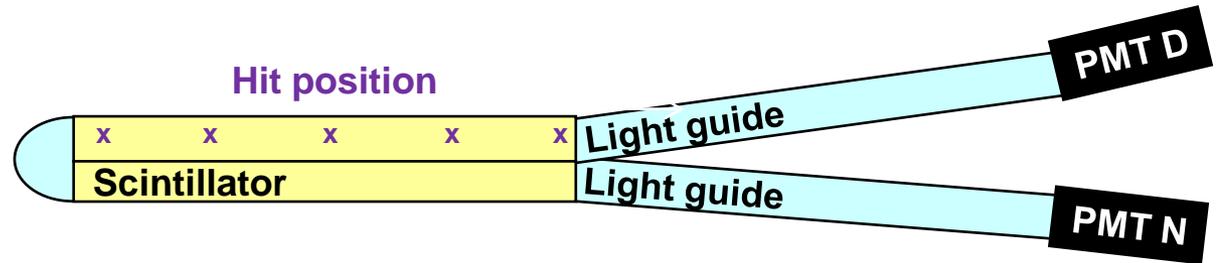
Deux scintillateurs couplés à deux PMs avec deux guides de lumière de 1.5 m de longueur, guide “u-turn” de l’autre côté; deux scintillateurs et deux PMs de “trigger”



Banc de test à Orsay

Deux scintillateurs couplés à deux PMs avec deux guides de lumière de 1.5 m de longueur, guide “u-turn” de l’autre côté; deux scintillateurs et deux PMs de “trigger”

Mesures avec rayons cosmiques



$$\sigma(D) \in [105, 136] \text{ ps}$$

$$\sigma(N) \in [194, 262] \text{ ps}$$

Banc de test à Orsay

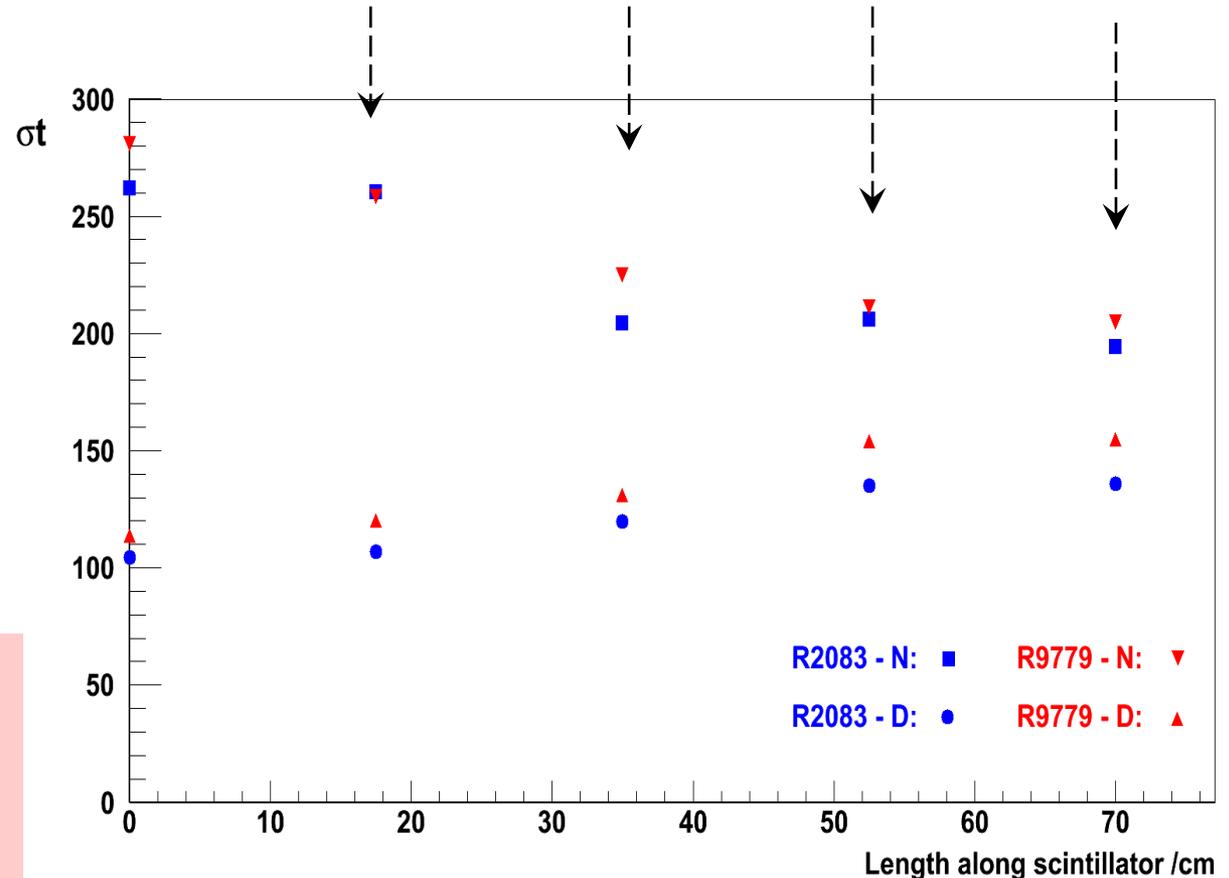
Deux scintillateurs couplés à deux PMs avec deux guides de lumière de 1.5 m de longueur, guide “u-turn” de l’autre côté; deux scintillateurs et deux PMs de “trigger”



Tests finalisés pour choisir:

- forme du « u-turn » (semi-circulaire)
- scintillateur (ELJEN)
- **PMs (R9779)**
- enrobage (feuilles d'aluminium)
- blindage magnétique pour les PMs

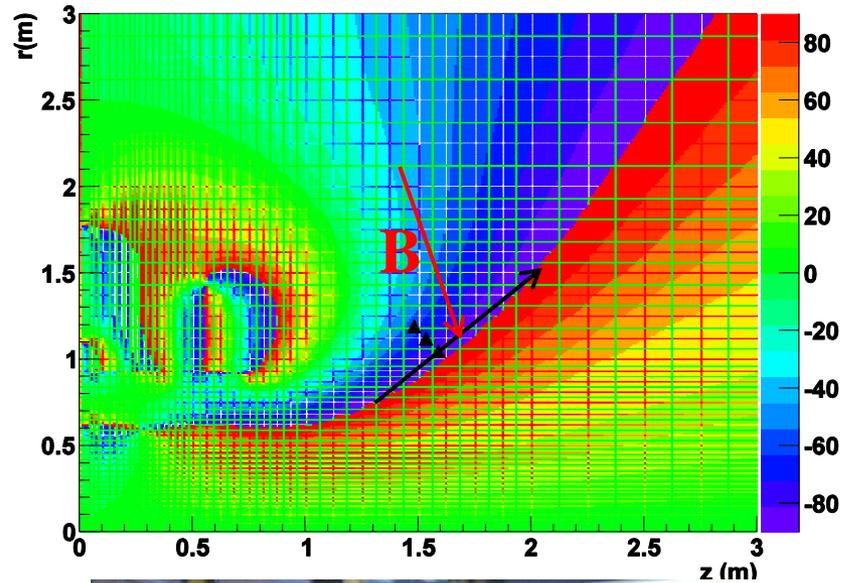
Prototype 2x3 en construction
(test de la chaîne de DAQ)
Prêt en Janvier
Revue du CND à JLab en mars



Banc de test à Orsay

Deux scintillateurs couplés à deux PMs avec deux guides de lumière de 1.5 m de longueur, guide “u-turn” de l’autre côté; deux scintillateurs et deux PMs de “trigger”

θ



$$\theta_B \sim -71^\circ$$

$$\text{Angle B/PM} \sim 110^\circ$$

$$\langle B \rangle \sim 215 \text{ G}$$

Tests finalisés pour choisir:

- forme du « u-turn » (semi-circulaire)
- scintillateur (ELJEN)
- PMs (R9779)
- enrobage (feuilles d'aluminium)
- **blindage magnétique pour les PMs**

Prototype 2x3 en construction
(test de la chaîne de DAQ)
Prêt en Janvier
Revue du CND à JLab en mars

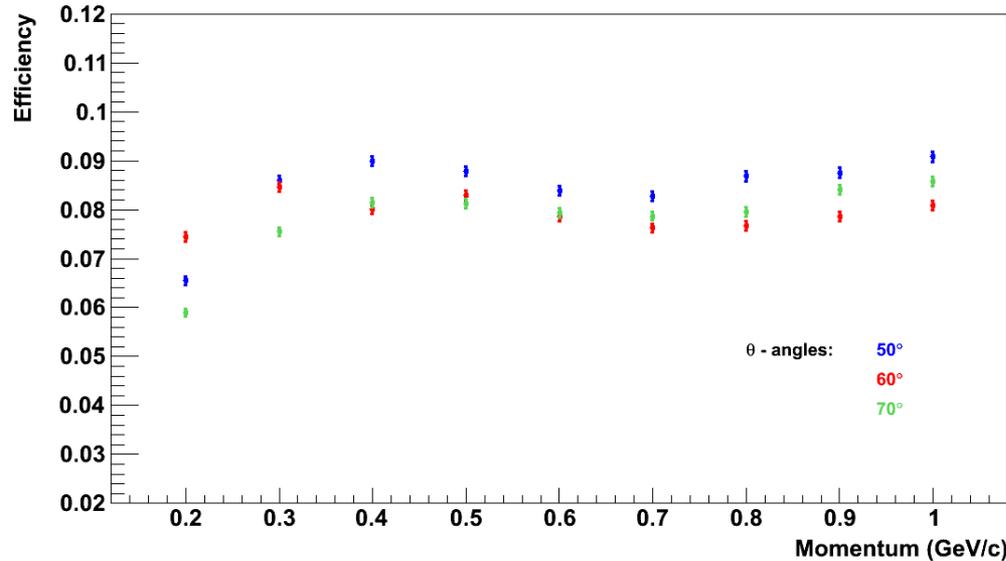
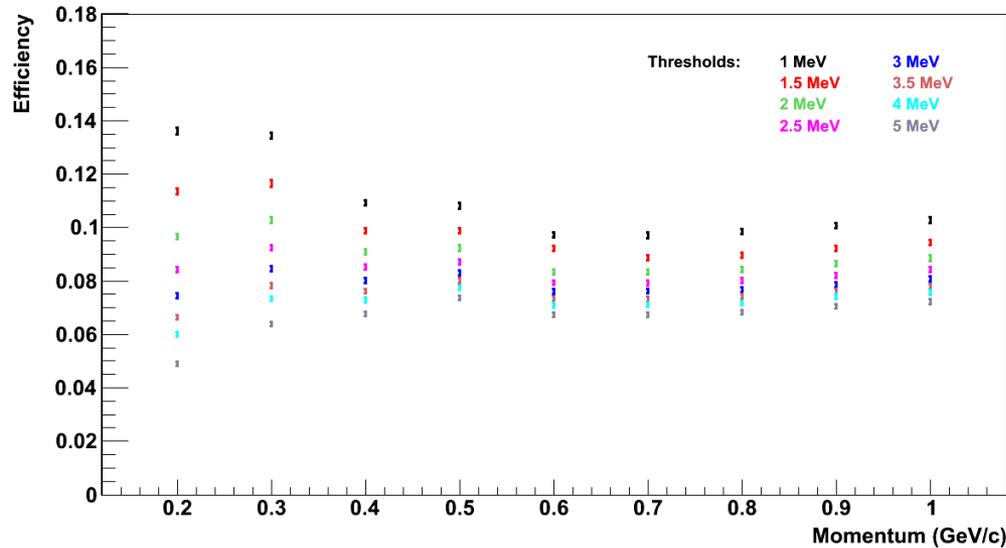


Mesures effectuées au LAL



Solution choisie:
 μ -metal et
5mm de acier douce

CND : simulations

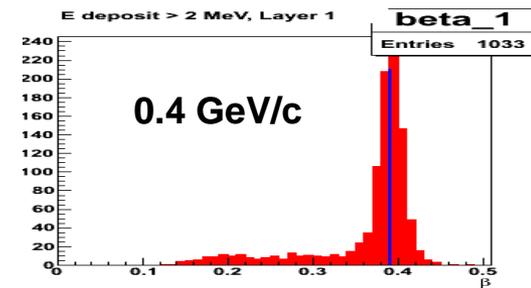
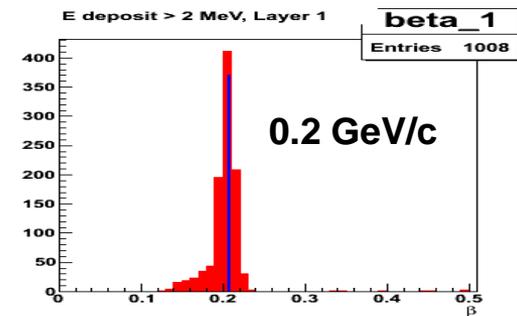


Simulations avec GEANT4 pour déterminer :

- efficacité
- PID (séparation neutrons/photons)
- résolution en impulsion et angles
- définition des algorithmes de reconstruction
- études des fonds

Valeurs mesurées de $\sigma(\text{TOF})$ et perte de lumière due au “u-turn” implémentés dans la simulation

Efficacité ~ 8-9%
pour un seuil de 3 MeV, TOF < 8 ns
et $p_n = 0.2 - 1 \text{ GeV/c}$

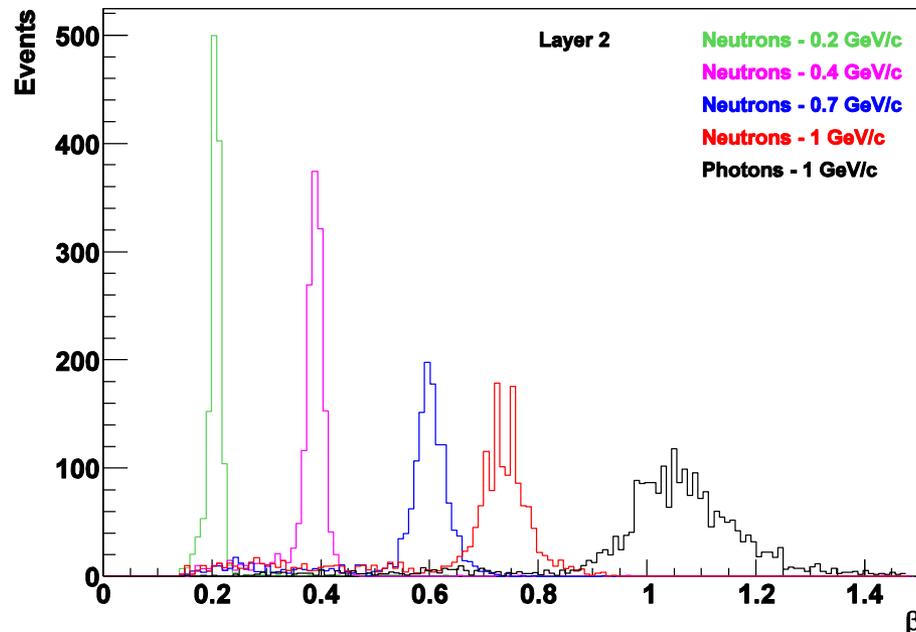
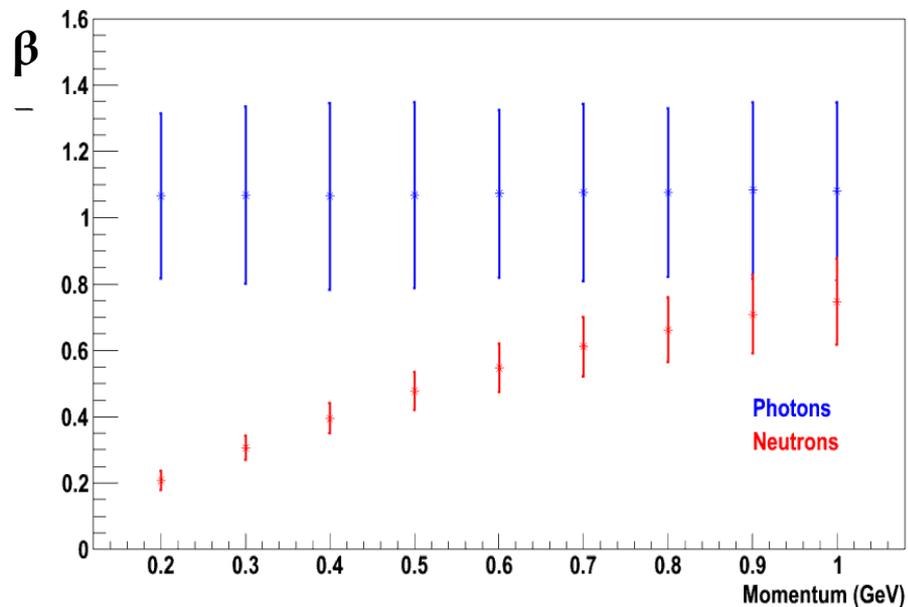


CND : simulations

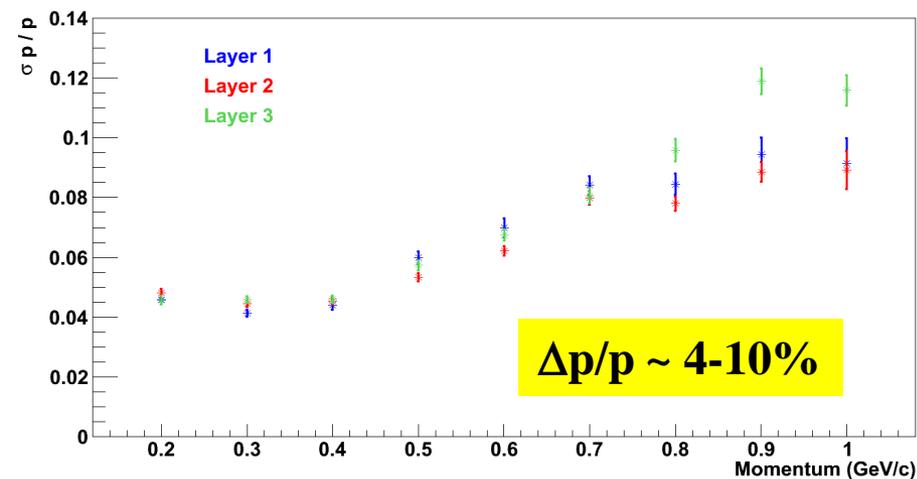
Mauvaise identification n/ γ
pour $p_n < 1$ GeV/c

Dans l'hypothèse du
même taux pour n et γ

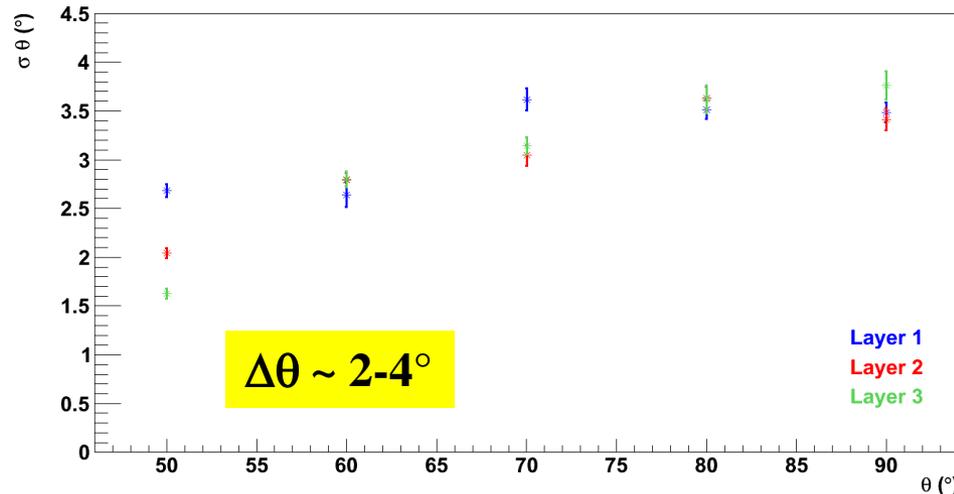
Barres d'erreur sur β représentent 3σ



Momentum resolution for neutrons at $\theta = 60^\circ$, energy deposited > 2 MeV, time of flight < 8 ns



θ resolution for neutrons ($p_n = 0.4$ GeV/c), energy deposited > 2 MeV, time of flight < 8 ns



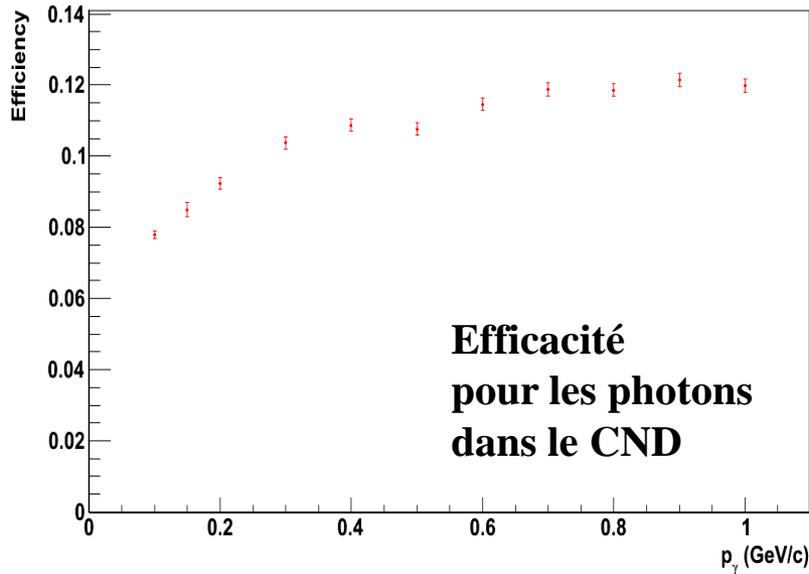
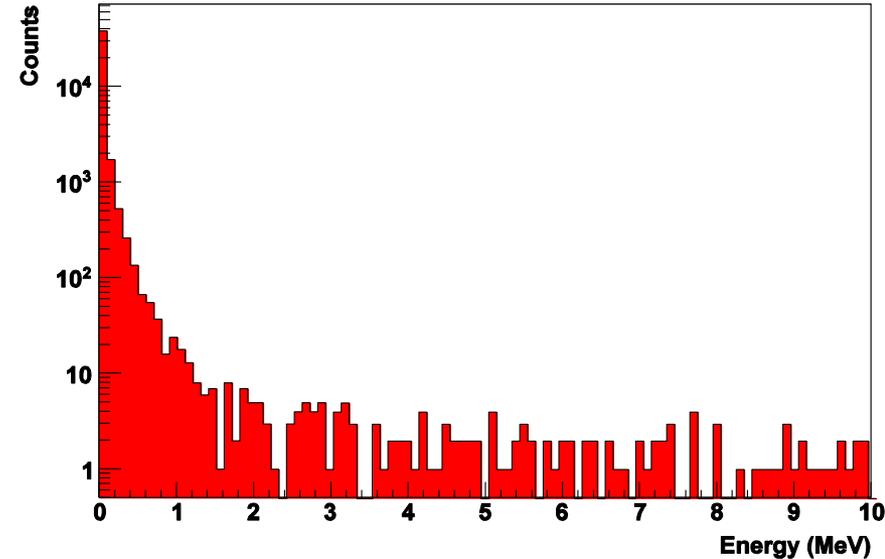
Fonds dans le CND

➤ Taux de comptages et distributions en énergie pour le **fond électromagnétique** dans le CND ont été déterminés avec **GEANT4** :

- Le fond dans le CND produit par le faisceau par **interaction électromagnétique dans la cible** consiste de **photons de basse énergie**

- Taux total **~2 GHz** pour luminosité de **$10^{35} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$**
- Après coupures de reconstruction le taux est **~ 30 KHz**
- Pour 1 KHz de taux d'événements $e\gamma$ dans CLAS12

le taux de fortuites est ~ 0.05 Hz



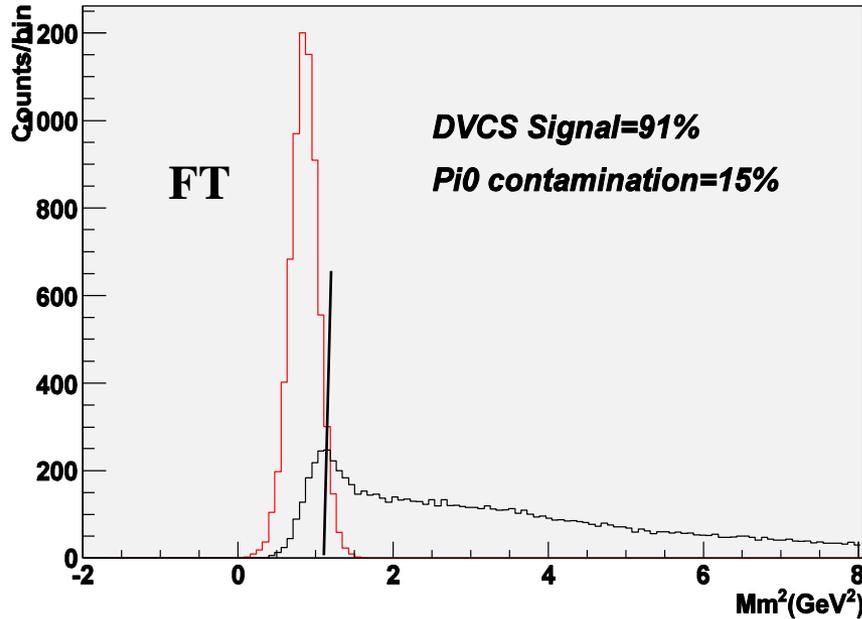
➤ **Fond “physique”** de photons émis dans les décroissances asymétriques de **mésons** estimé avec simulation **CLASDIS** :

- demandant un **électron et un photon ($E_\gamma > 1 \text{ GeV}$)** dans le FD
 - avec coupure **“à-la-DVCS”** : $MM(e\gamma) < 1.1 \text{ GeV}$
 - avec 30% d'acceptance + efficacité pour électron et photon dans le FD, et 10% d'efficacité dans le CND
- **0.6 Hz de taux de comptage des photons dans le CND**

Taux de neutrons nDVCS-BH ~ 4 Hz

Fonds $ed \rightarrow en\pi^0(p)$ et ΔVCS

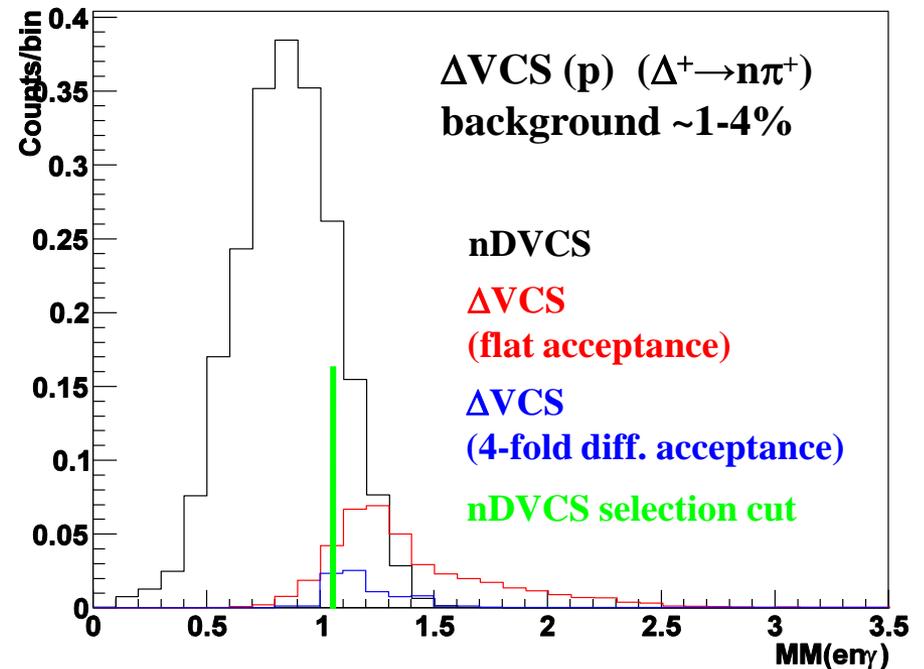
$$N_{DVCS} = N_{en\gamma X} - N_{\pi^0 1\gamma} \quad N_{\pi^0 1\gamma} = N_{\pi^0}^{data} \cdot \frac{N_{\pi^0 1\gamma}^{MC}}{N_{\pi^0 2\gamma}^{MC}} \quad \text{Pour chaque « bin » } (Q^2, x_B, t, \phi)$$



Générateur $en\pi^0$: modèle de Regge (Laget) qui reproduit les données du Hall A et CLAS sur le proton à 6 GeV

Générateur ΔVCS : modèle GPD (Vanderhaegen)

Contaminations estimées avec générateurs d'événements nDVCS-BH, $ed \rightarrow en\pi^0(p)$ et ΔVCS + FASTMC (résolutions et acceptances réalistes pour CLAS12 et le CND)



Projections pour la BSA

Projections pour **80 jours** avec **$L = 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}/\text{nucleon}$**)

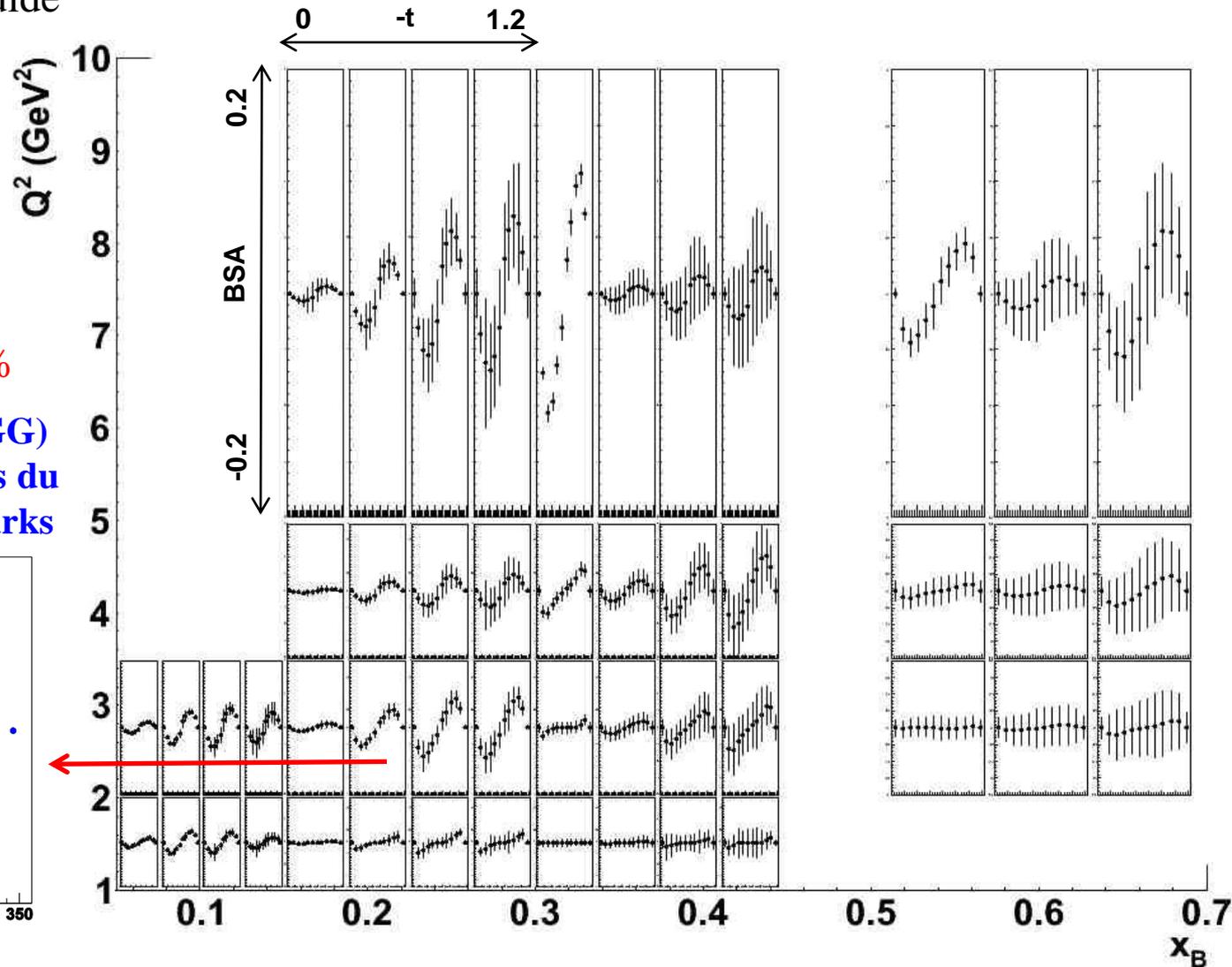
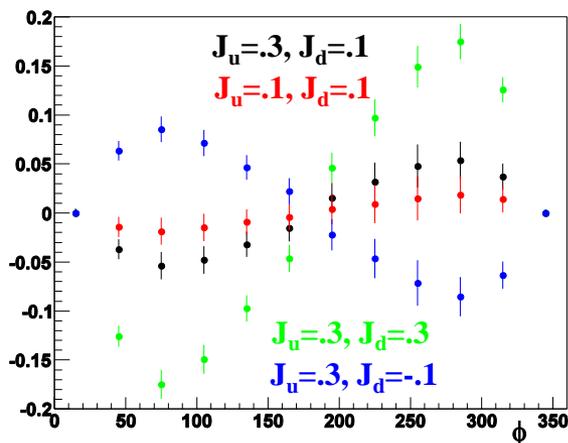
- **CLAS12 + Forward Calorimeter + Central Neutron Detector**
- 85% polarisation du faisceau d'électrons
- cible de deutérium liquide

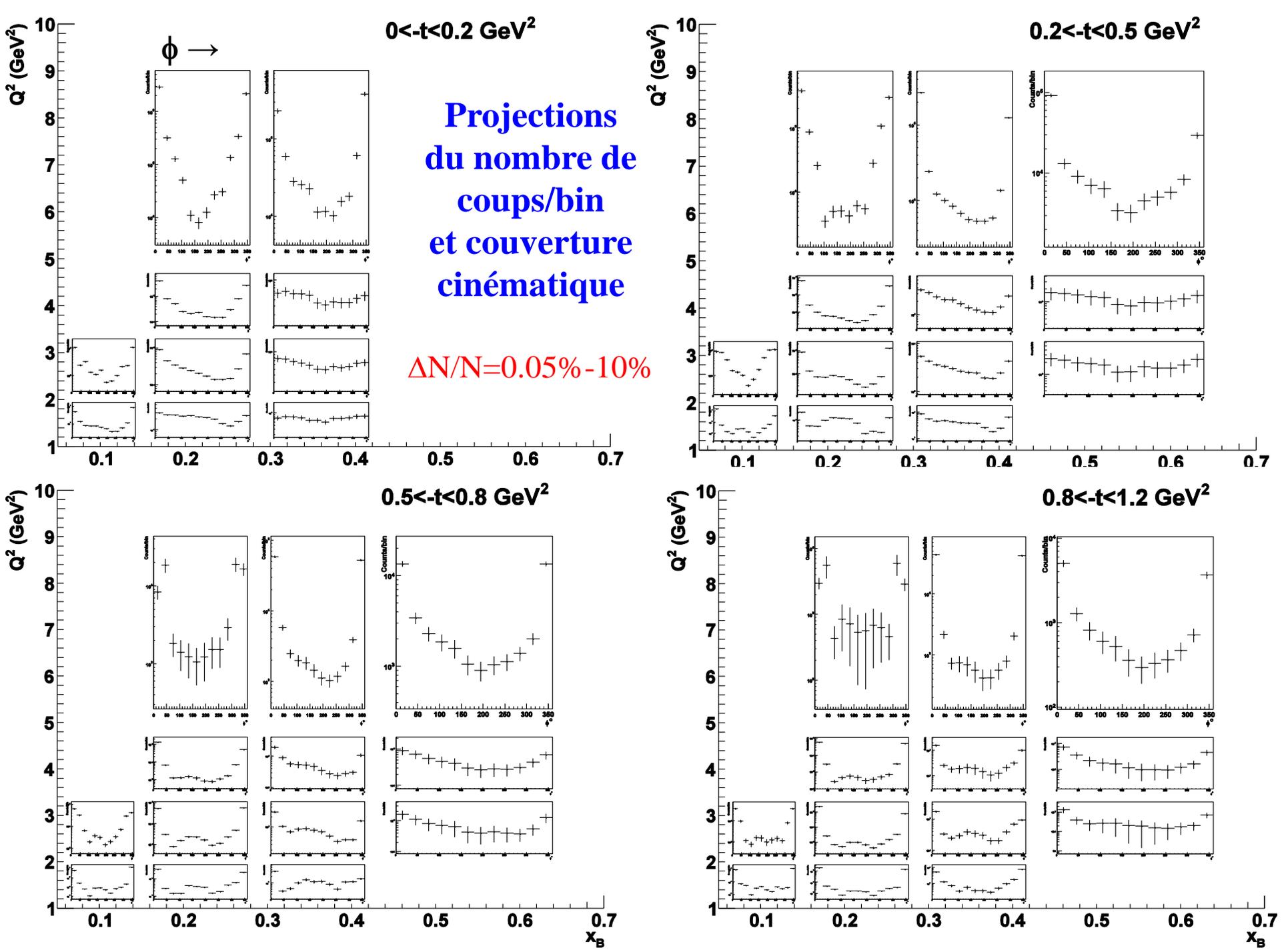
$$ed \rightarrow e(p)n\gamma$$

Erreur relative
sur le nombre de coups
 $\Delta N/N \sim 0.05\% - 10\%$

Erreurs systématiques: 8%

Prédictions du modèle VGG)
pour des valeurs différentes du
moment angulaire des quarks





Plan pour le CND et besoins financiers

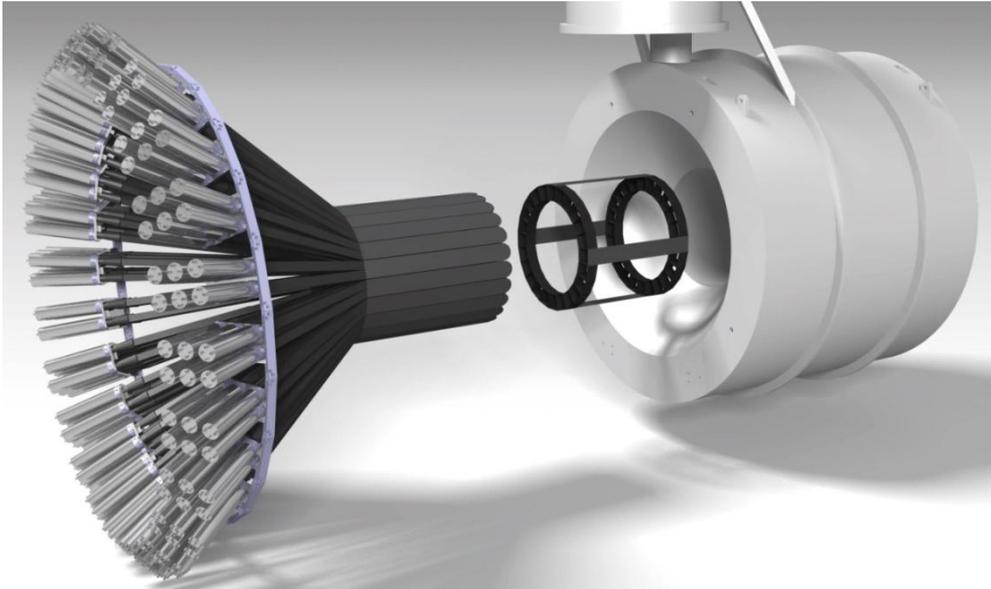
Plan pour le CND:

Automne 2011: Construction du prototype à trois couches (tests du DAQ) et finalisation du « design » de la mécanique

2012- première moitié 2013: construction

2nd semestre 2013: assemblage et test

→ **Prêt à être envoyé et installé dans CLAS12 au printemps 2014**



Besoins financiers:

2012 : 150 kEuros pour scintillateurs, guides, mécanique et discriminateurs

2013 : 120 kEuros pour PMs et leur équipement

2014 : 30 kEuros transport et installation dans le Hall B

→ **300 kEuros sur les 3 ans**

Avec la contribution de :

- JLab (ADCs et TDCs)
- INFN Genova et Frascati (alimentations haute tension)

« Letter of Intent » présentée au PAC34 (janvier 2009)

*“LOI12-09-001: The PAC considers performing Deeply Virtual Compton Scattering on not only protons but also neutrons **essential**. For this a **central neutron detector** is required. This collaboration is strongly encouraged to **complete the required R&D** and bring forward a Proposal.”*

Proposition d'expérience présentée au PAC37 (janvier 2011)

Approved

« Update » présenté au PAC38 (Aout 2011)

Rating: A
Beam time: 90 days (as required)

Conclusions (1)

- Les GPDs sont un moyen unique pour explorer la **structure interne du nucléon** :
 - **image 3D** des quarks/gluons dans le nucléon
 - **moment angulaire orbital** des quarks
- L'extraction des GPDs des données expérimentales est **très complexe** :
 - elles dépendent de **3 variables**, dont seulement deux (ξ , t) sont accessibles
 - elles apparaissent sous forme d'**intégrales** dans les sections efficaces
- Il faut mesurer **plusieurs observables du DVCS** sur un **vaste espace de phase** pour contraindre les paramétrisations des GPDs
- Les **résultats** expérimentaux du DVCS issus de **CLAS** sont **très prometteurs** :
 - premières **contraintes sur les modèles des GPD**
 - premiers “fits” pour extraire les GPDs de façon **indépendante de modèle**
- L’“upgrade” à 12 GeV est **essentiel** pour l'étude de **la structure du nucléon** dans **la région des quarks de valence** avec précision, avec la mesure de **réactions exclusives profondément virtuelles** avec faisceau polarisé et cibles polarisées
- **CLAS12** sera le seul détecteur au monde **à grande acceptance**, pour expériences **à haute luminosité** de diffusion d'électrons, et sera parfaitement adapté au programme des GPDs
- Le premiers faisceau à 11 GeV sera sur la cible de CLAS12 **fin 2014**

Conclusions (2)

- **nDVCS** est une réaction fondamentale pour le programme des GPDs de JLab : son **asymétrie de spin du faisceau** donne accès à la GPD **E** et donc au **moment angulaire des quarks** (à travers la **règle de somme de Ji**), et c'est un premier pas vers la **séparation en saveur des GPDs**
- Une **vaste couverture cinématique** est nécessaire pour échantillonner l'espace de phase, car **la BSA varie fortement** → **CLAS12 est nécessaire**
- La **détection du neutron de recul** assure l'**exclusivité**, **réduit le bruit de fond** et **les erreurs systématiques**
- Les **neutrons** du nDVCS vont pour la plupart à **grands angles** ($\theta_n > 40^\circ$), donc un **détecteur de neutrons** doit être ajouté au « Central Detector » de CLAS12 en utilisant l'espace à disposition
- Avec **un tonneau de scintillateurs plastiques**, des guides “u-turn” à l'avant et des longs guides avec PMs à l'arrière, le CND détectera les neutrons du nDVCS avec **~10% d'efficacité** et permettra la séparation **n/γ** pour **$p_n \leq 1 \text{ GeV}/c$**
- Le détecteur est en phase de **construction** : **300 kEuros entre 2012 et 2014** seront nécessaires pour le compléter
- L'expérience nDVCS a été **approuvée avec note « A »** par le PAC de JLab