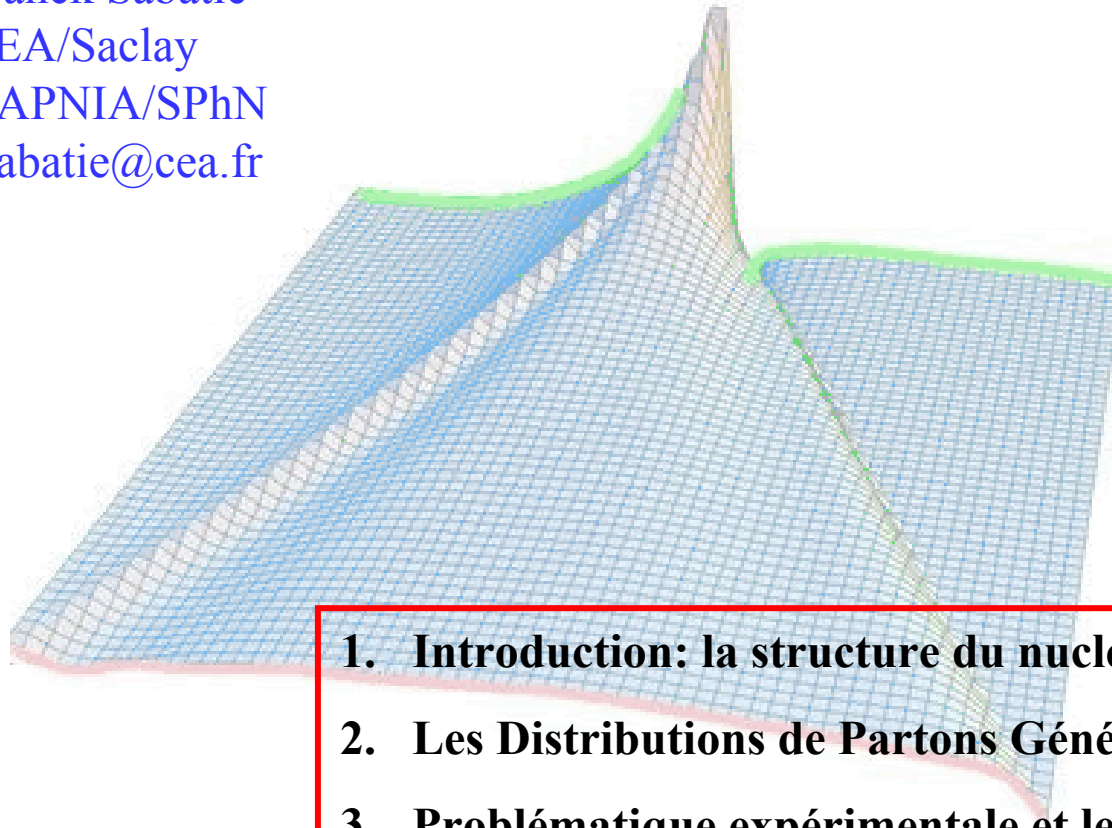


Distributions de Partons Généralisées à Jefferson Lab

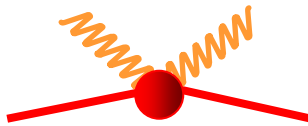
Franck Sabatié
CEA/Saclay
DAPNIA/SPhN
fsabatie@cea.fr



- 1. Introduction: la structure du nucléon par diffusion de leptons**
- 2. Les Distributions de Partons Généralisées (GPD)**
- 3. Problématique expérimentale et les expériences à 6 GeV**
- 4. CEBAF 12 GeV: un accélérateur pour l'étude des GPD**
- 5. Discussion et conclusion**

La structure du nucléon par diffusion de leptons... jusqu'ici

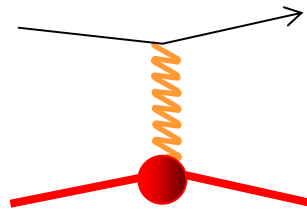
Diffusion Compton
($\gamma^{(*)}N \rightarrow \gamma N$)



Polarisabilités

VCS à JLab

Diffusion élastique
de leptons

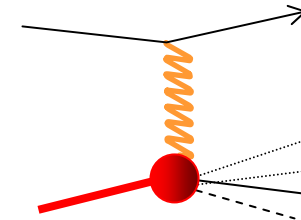


Facteurs de forme

FF élastiques et faibles à JLab:

T20, Gep, G0, HAPPEX1 et 2

Diffusion
profondément
inélastique



Fonctions de structure

GDH/A1n à JLab

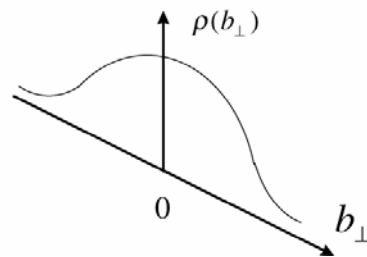
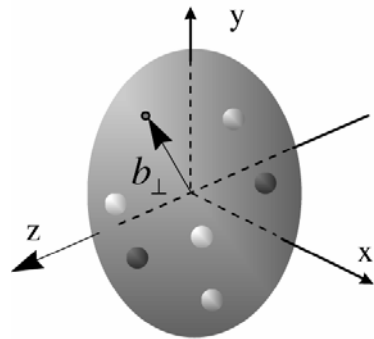
Distributions de charge et de magnétisation
dans un nucléon au repos

Distributions de partons:
impulsion, spin,
portés par un quark ou un gluon
dans un nucléon en mouvement

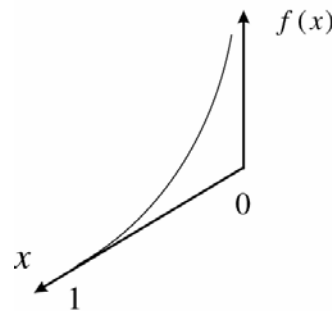
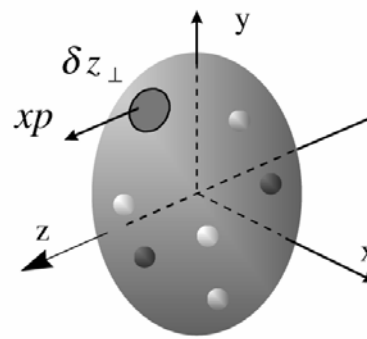
Les Distributions de Partons Généralisées (GPD) ...

généralisent les facteurs de forme, les distributions de partons, et vont au delà !

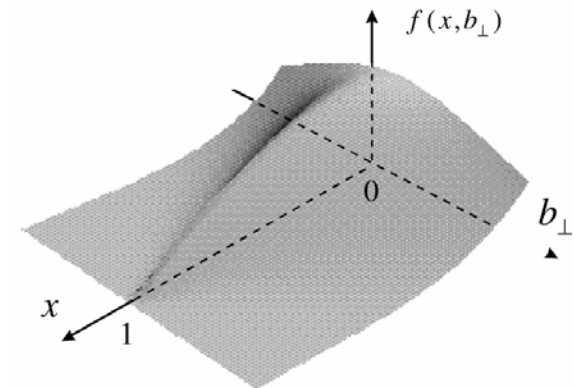
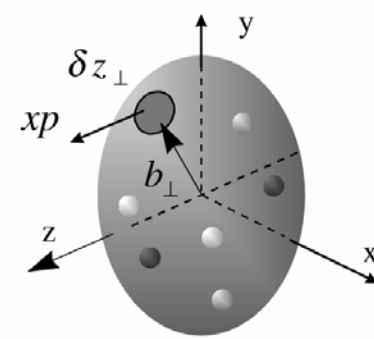
Facteurs de Forme



Distributions de Partons

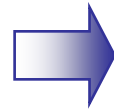
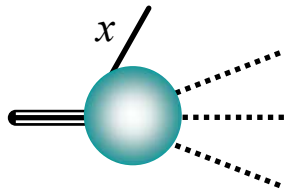


Distributions de Partons Généralisées

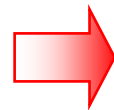
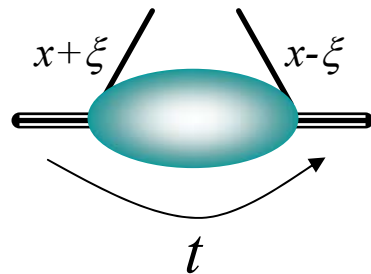


Contiennent à la fois des informations sur la position transverse et la fraction d'impulsion !!!

Le concept théorique derrière les GPD



Probabilité qu'un quark porte une fraction x de l'impulsion du nucléon: $|\psi(x)|^2$
⇒ Distributions de Partons ordinaires mesurées en DIS $q(x), \Delta q(x)$



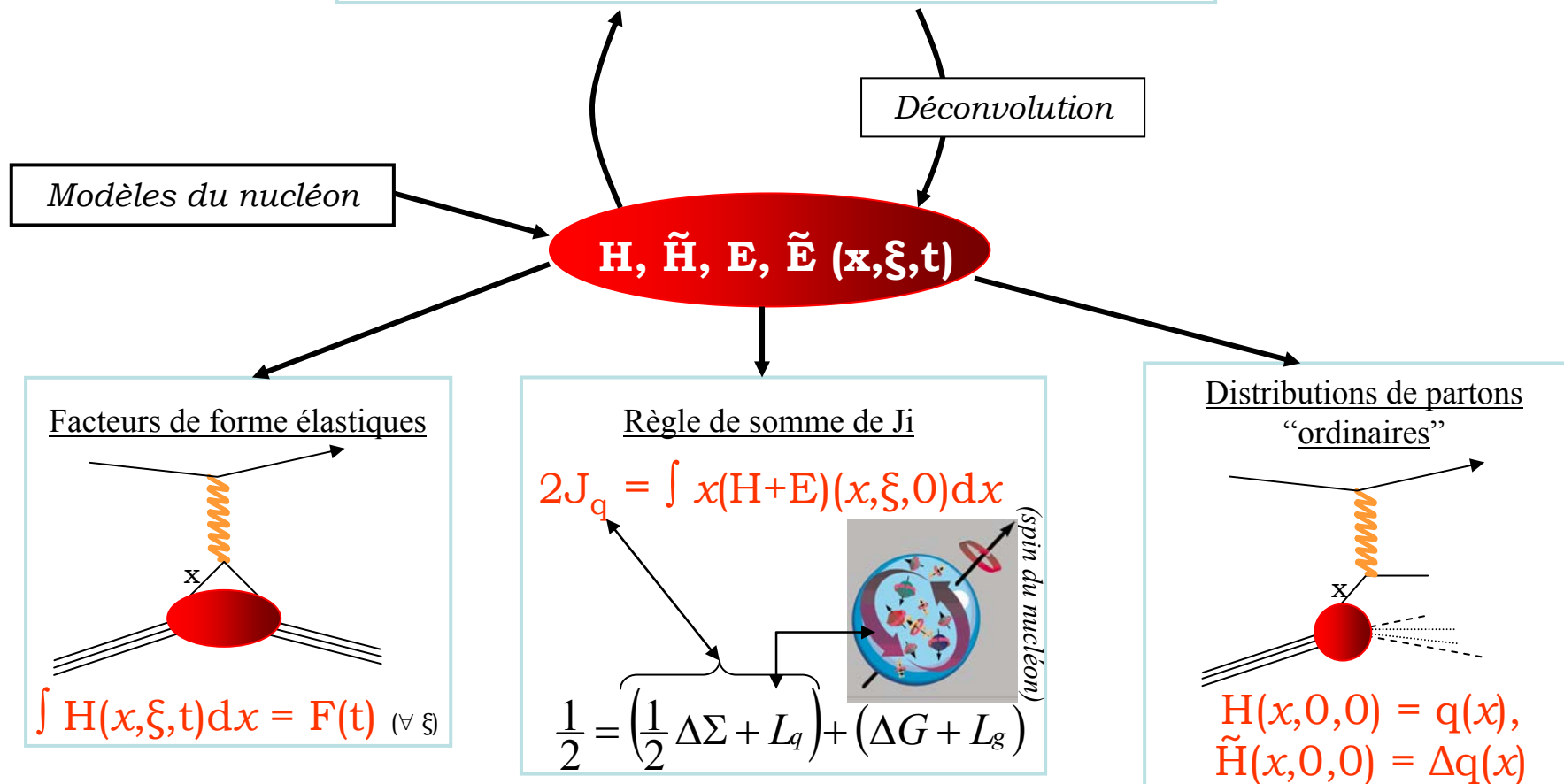
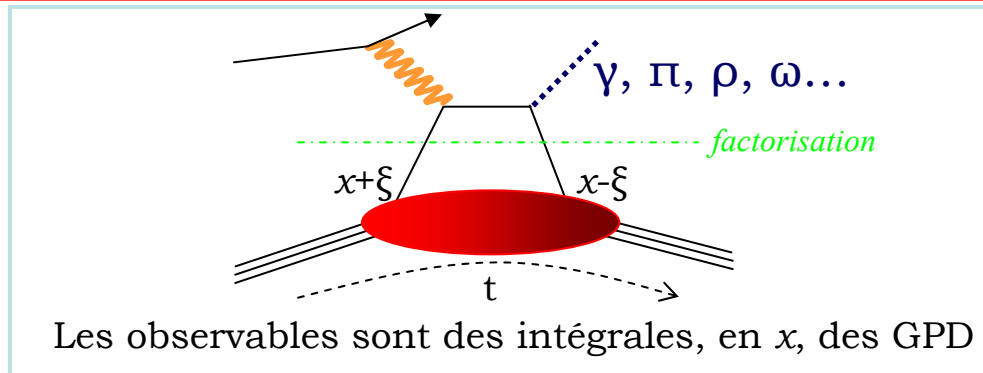
Cohérence ou interférence entre l'état initial où un quark porte une fraction $x+\xi$ de l'impulsion du nucléon et l'état final où il porte un fraction $x-\xi$:

$$\psi^*(x+\xi) \cdot \psi(x-\xi)$$

⇒ Distributions de Partons Généralisées mesurées dans des processus exclusifs durs

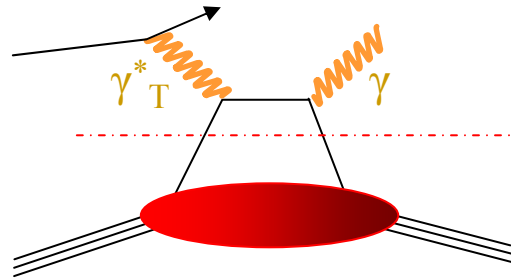
$$H, E, \tilde{H}, \tilde{E}(x, \xi, t)$$

Relations avec les observables



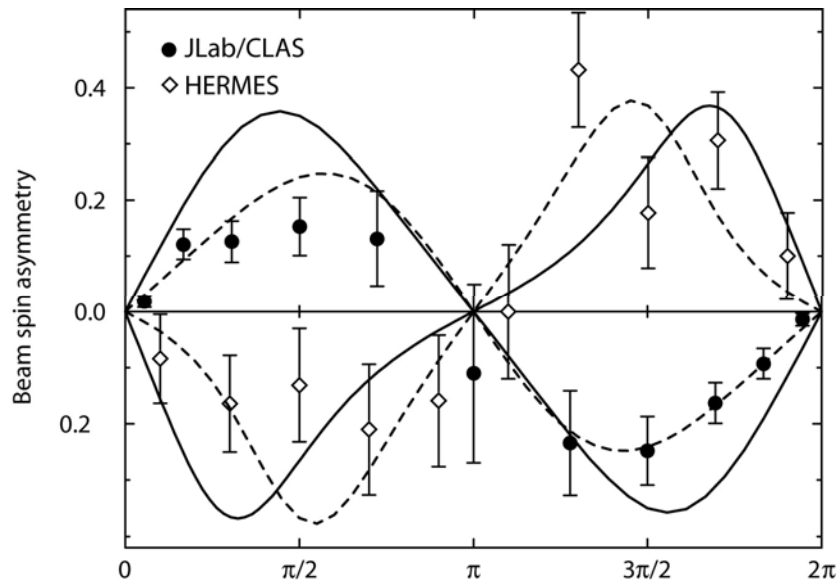
Comment mesurer les GPD: Diffusions Exclusives Dures

Deeply Virtual Compton Scattering (DVCS)



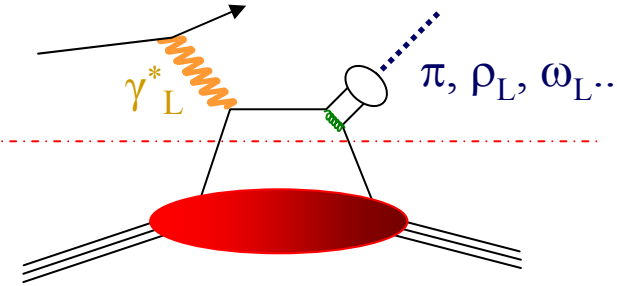
Factorization theorems

- Leading order/twist accessible à des Q^2 modérés,
- Interférence avec le Bethe-Heitler,
- Premières publications de H1, ZEUS (gluons) et:

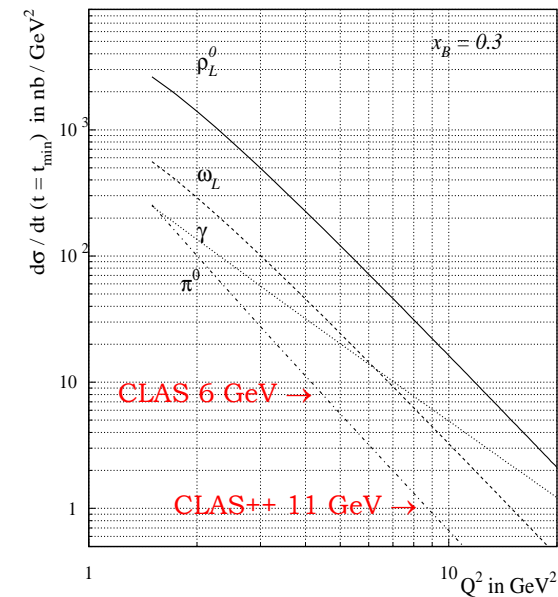


(La forme sinusoïdale est caractéristique de l'interférence DVCS-BH)

Deeply Virtual Meson Production (DVMP)

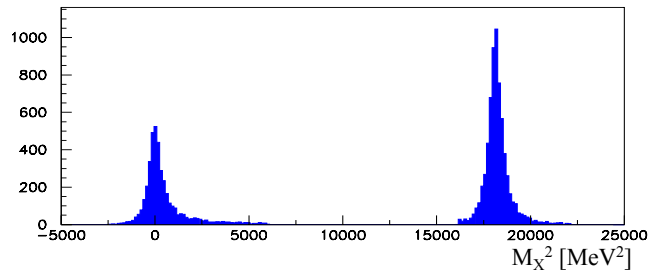


- Permet la séparation $(H,E) \leftrightarrow (\tilde{H},\tilde{E})$ et suivant les saveurs de quarks.
- Nécessité d'extraire σ_L

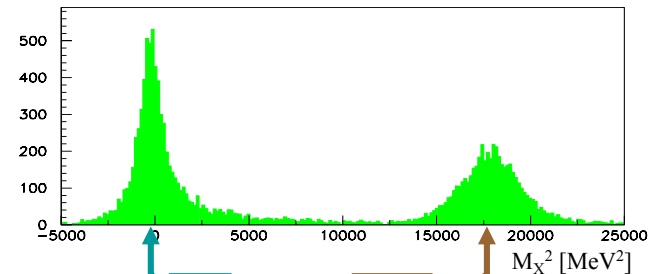


Le défi expérimental

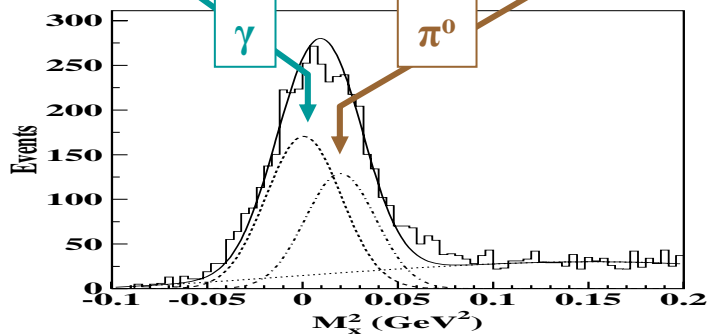
Masse Manquante M_X^2



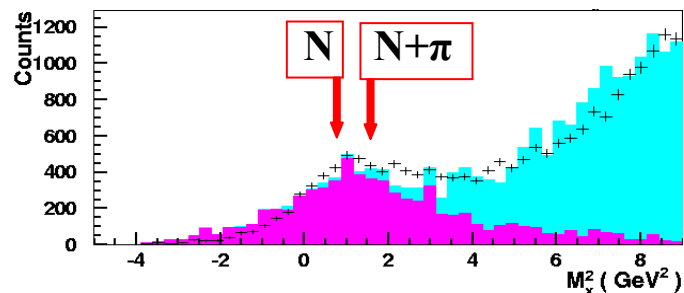
ep \rightarrow epX
MAMI
850 MeV



ep \rightarrow epX
Hall A
4 GeV



ep \rightarrow epX
CLAS
4.2 GeV



ep \rightarrow e γ X
HERMES
28 GeV

Energie Faisceau

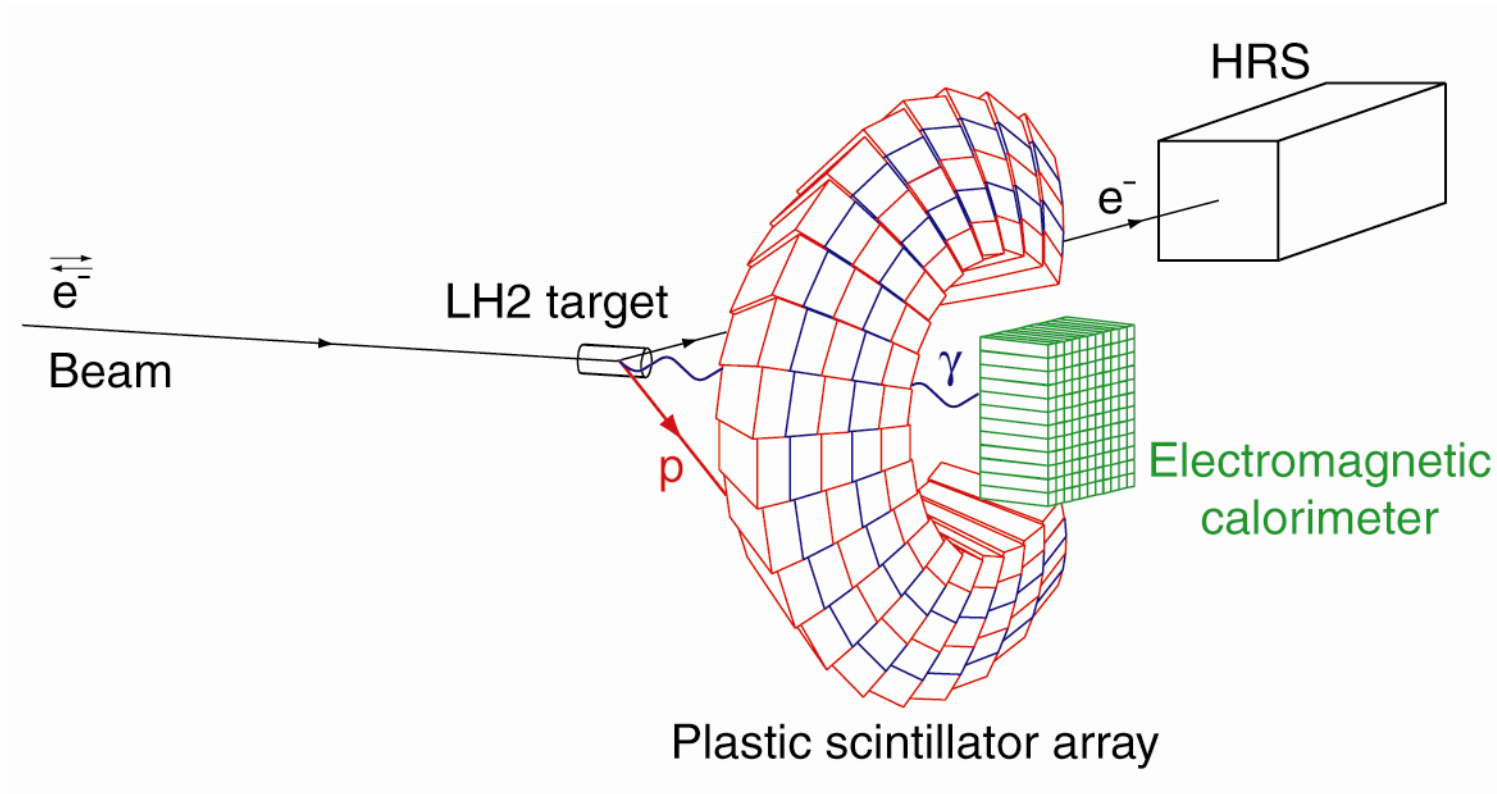
Besoins:

- Résolution et exclusivité (état final avec 3 particules)
- Haute luminosité et/ou grande acceptance (section-efficaces faibles)
- Q^2 grands (factorisation)

Expériences de Diffusion Exclusive Dure

	Publié Résultats Préliminaires	2004	2005 2009 ? ...	2010		
	HERMES <i>27 GeV</i>	CLAS <i>4.2 GeV</i>	CLAS <i>4.8 GeV</i>	Hall A <i>6 GeV</i>	CLAS <i>6 GeV</i>	HERMES	COMPASS	JLab@ 12GeV	
DVCS – BSA + BCA		DVCS - BSA	DVCS	DVCS Proton Neutron	DVCS Proton	DVCS BSA+BCA	DVCS σ +BCA	TOUT, avec grande précision et exclusivité	
+ noyau d-TSA			Expérience en cours			<i>Avec détecteur de recul</i>	<i>Avec détecteur de recul</i>		
ep→epp σ_L + DSA		ep→epp _L							
ep→enπ ⁺									
ep→epπ ⁰ /η				ep→epπ ⁰	ep→epπ ⁰ /η				
ep→enπ ⁺									
ep→epΦ									
+									

DVCS dans le Hall A à 6 GeV



- Spectromètre de haute résolution pour la détection de l'électron
 - Détection du proton dans un anneau de 100 blocs de scintillateur
 - Détection du photon dans un calorimètre électromagnétique (PbF_2)
- ➡ Detection of all 3 final-state particles ensures exclusivity**

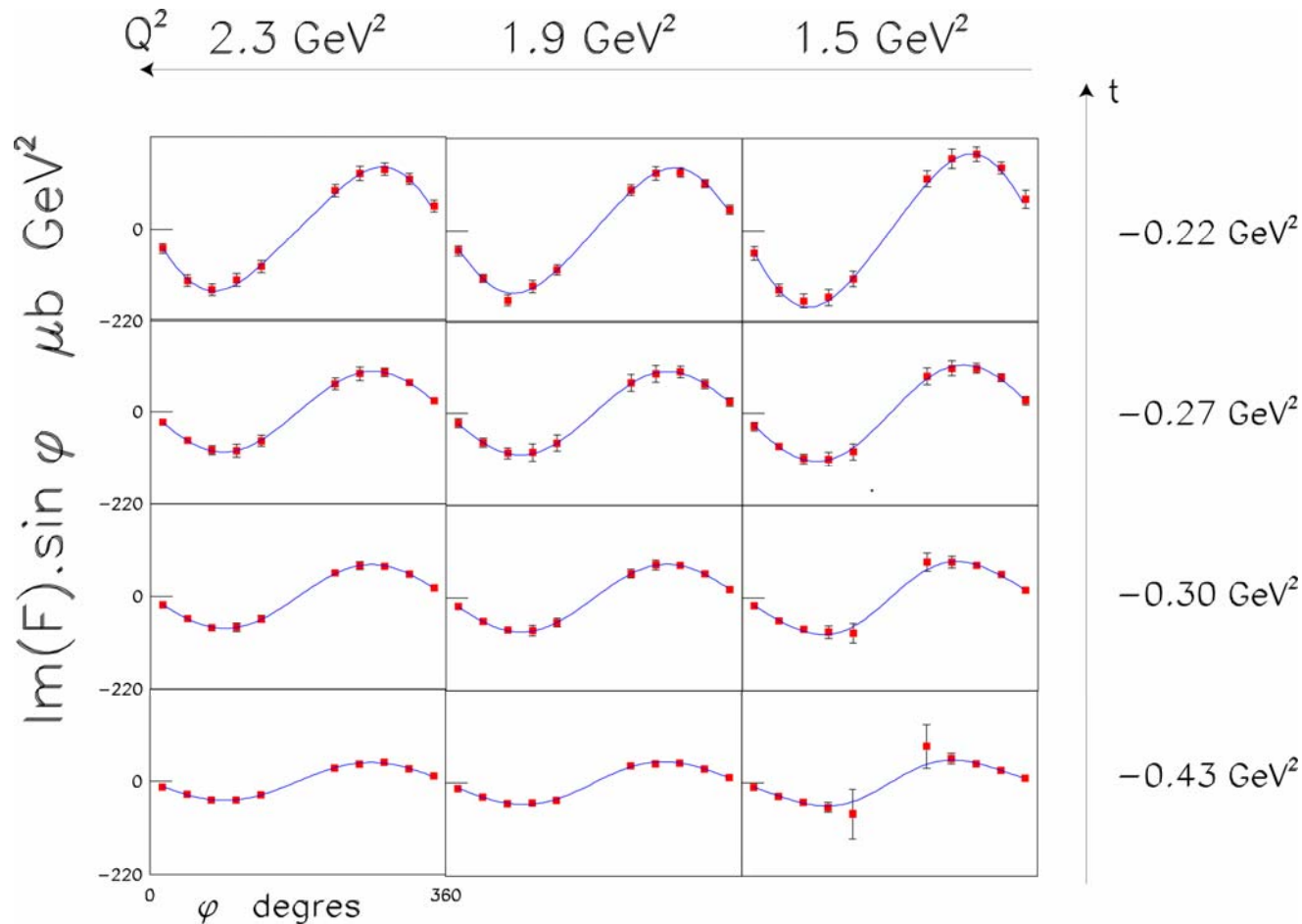
DVCS dans le Hall A à 6 GeV – Résultats attendus

Caractéristiques uniques:

- Très haute luminosité ($10^{37} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
- Cinématique bien définie (haute résolution)
- ➡ Grande précision pour Q^2 jusqu'à 2.5 GeV^2 à $x_B=0.35$

Méthode:

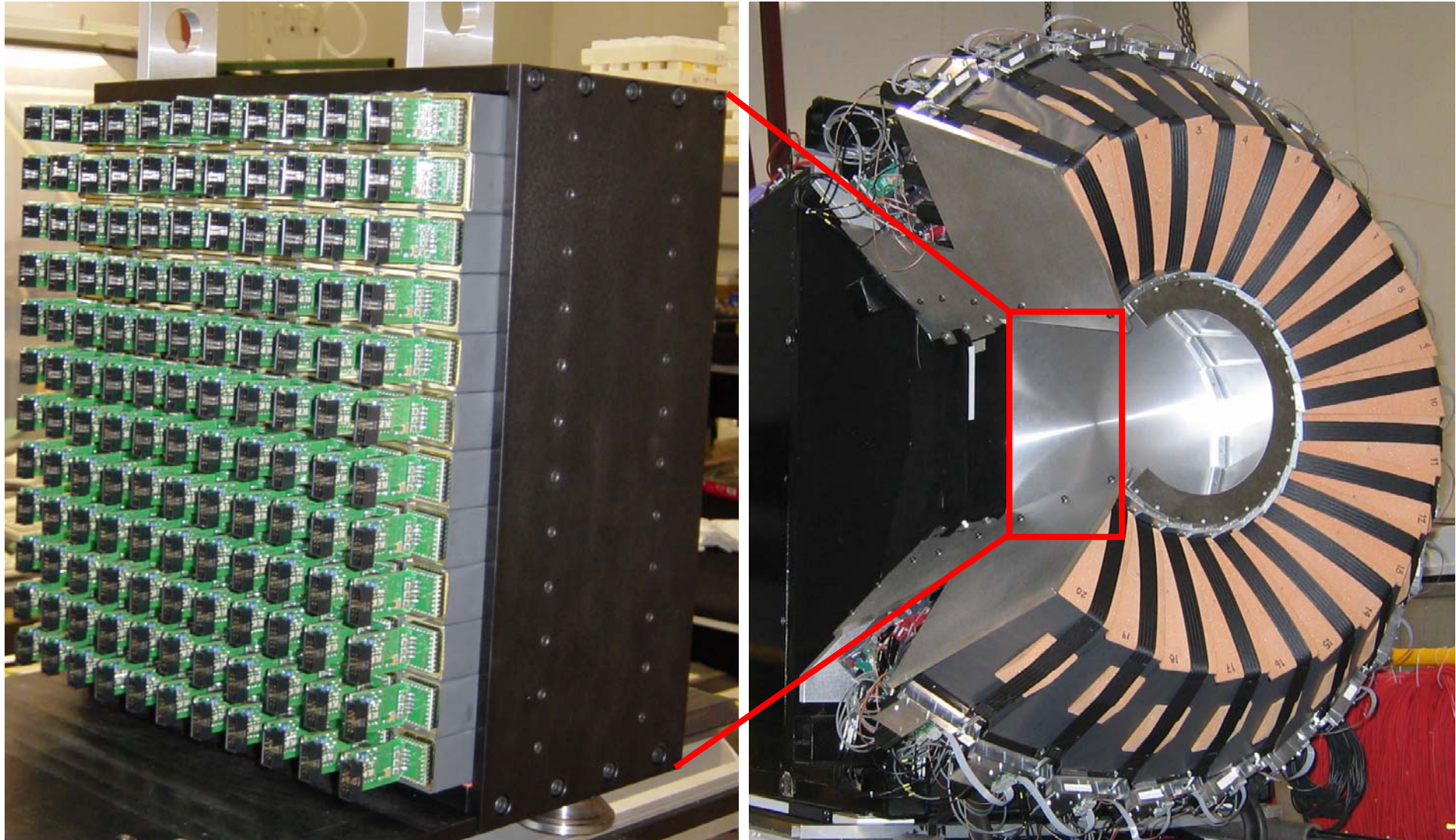
Mesure de *différences de section-efficaces* en fonction de φ . Deduire la dépendance en Q^2 et l'importance relative du twist-2 et des higher-twists



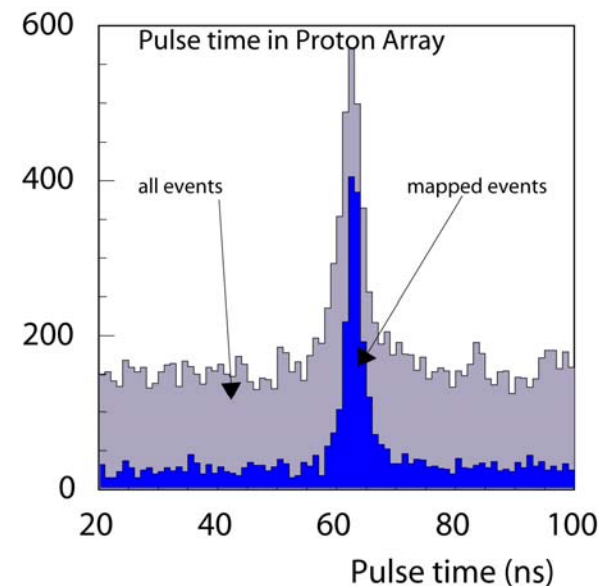
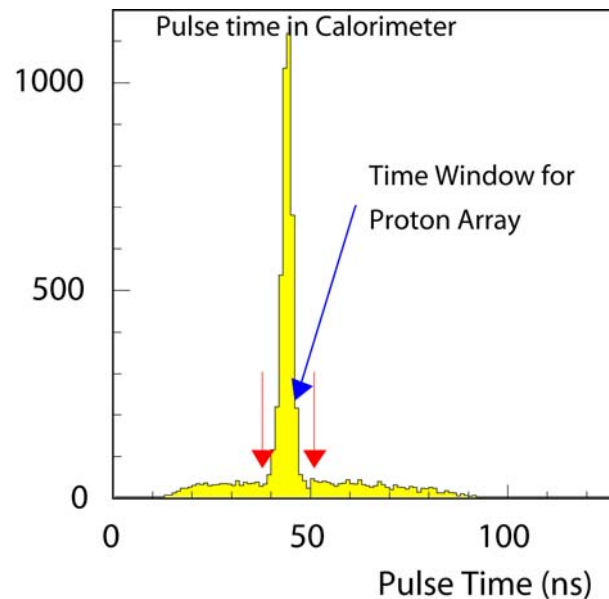
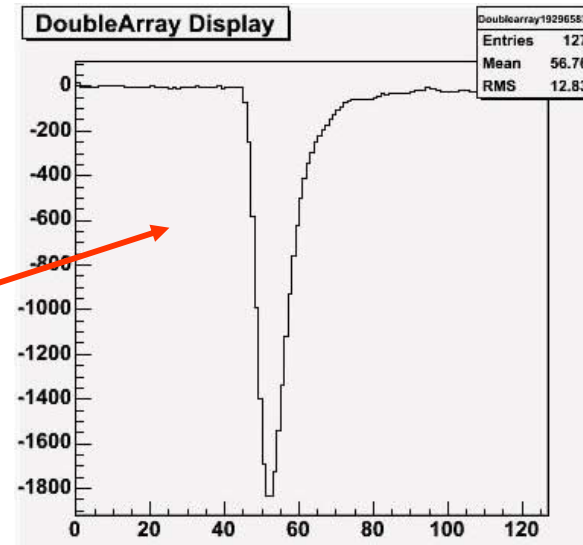
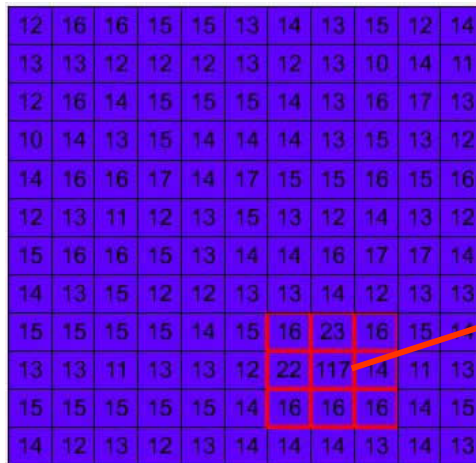
Buts:

- Tester la factorization de DVCS
- Mesurer des combinaisons linéaires de GPD

L'expérience tourne à l'heure qu'il est !

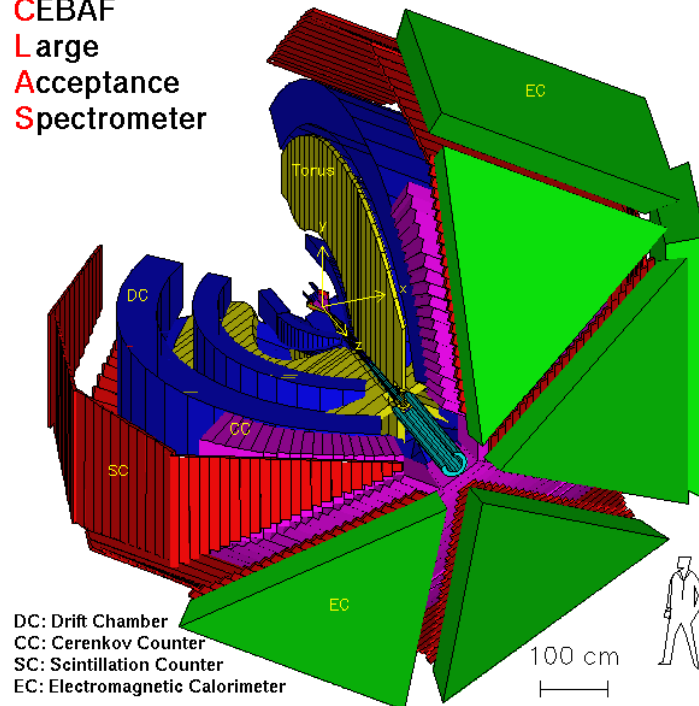


Coïncidences triples à $L=10^{37} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$: ça marche !

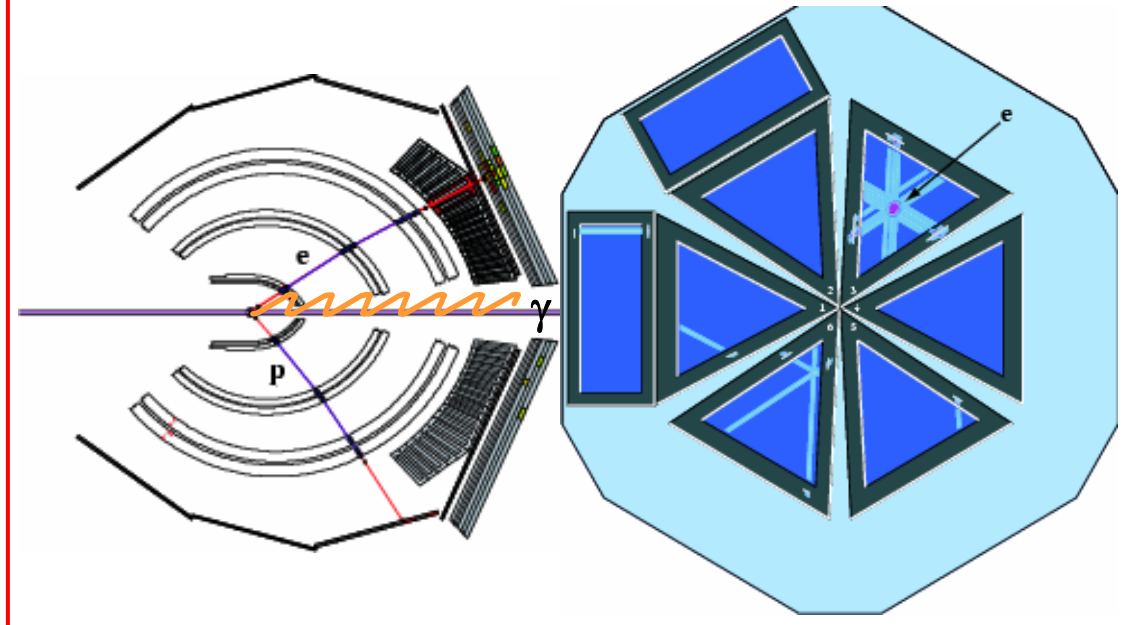


DVCS avec CLAS dans le Hall B: 4 mois en 2005

CEBAF
Large
Acceptance
Spectrometer

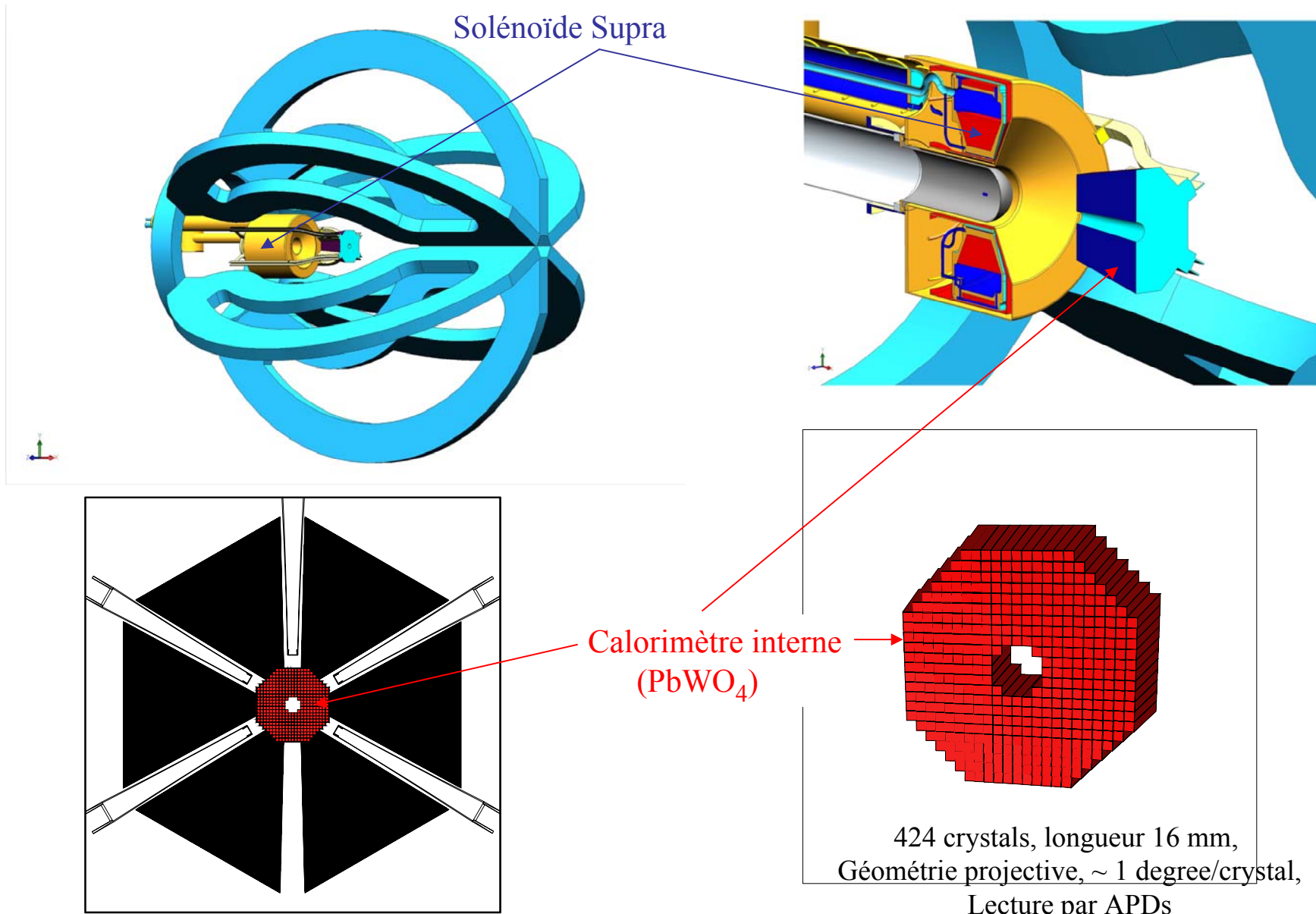


Un événement $ep \rightarrow ep(\gamma)$ dans CLAS

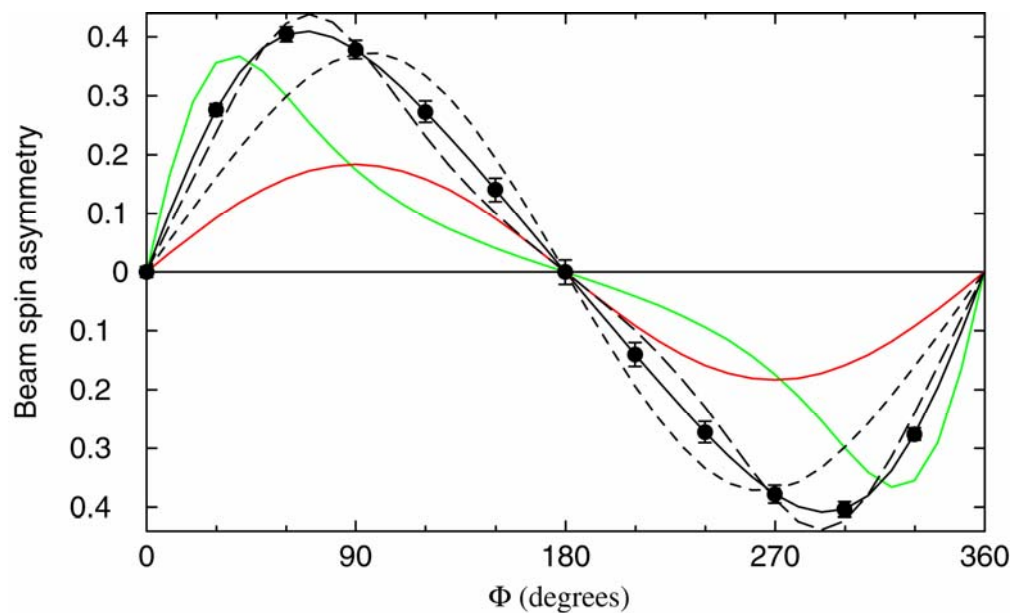


Le photon réel de grande énergie part le plus souvent à petit angle:
Nécessité d'ajouter un calorimètre qui couvre $\theta < 15^\circ$

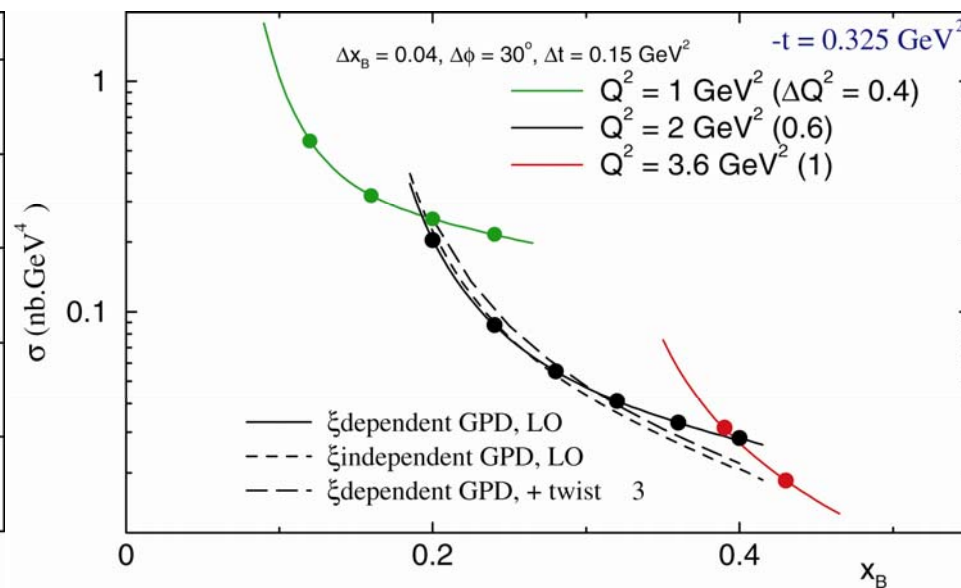
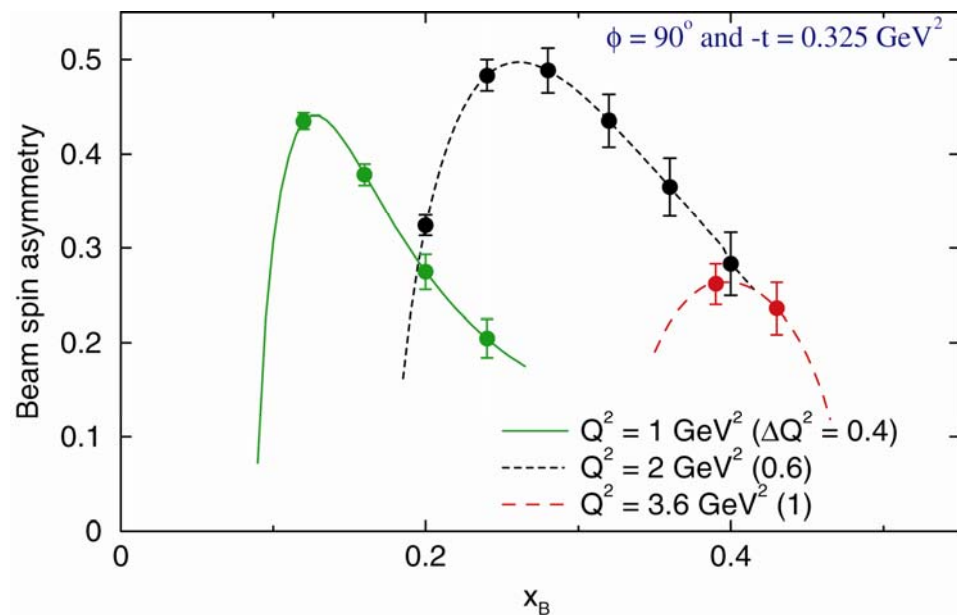
DVCS avec CLAS à 6 GeV



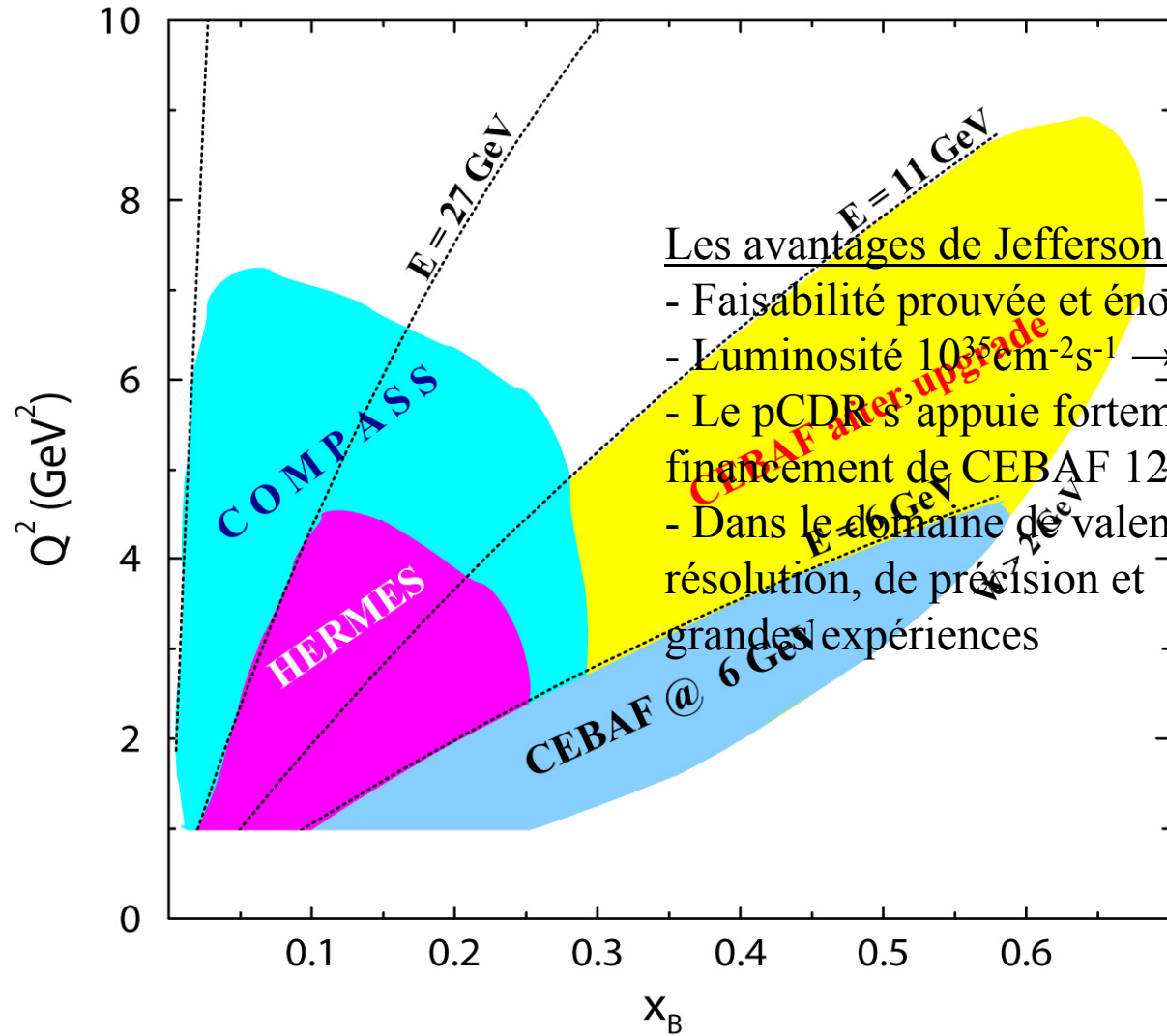
Exemple de résultats attendus



Asymétrie en φ en fonction de x_B, t, Q^2, φ (372 bins)



Le potentiel de Jefferson Lab après l'upgrade à 12 GeV

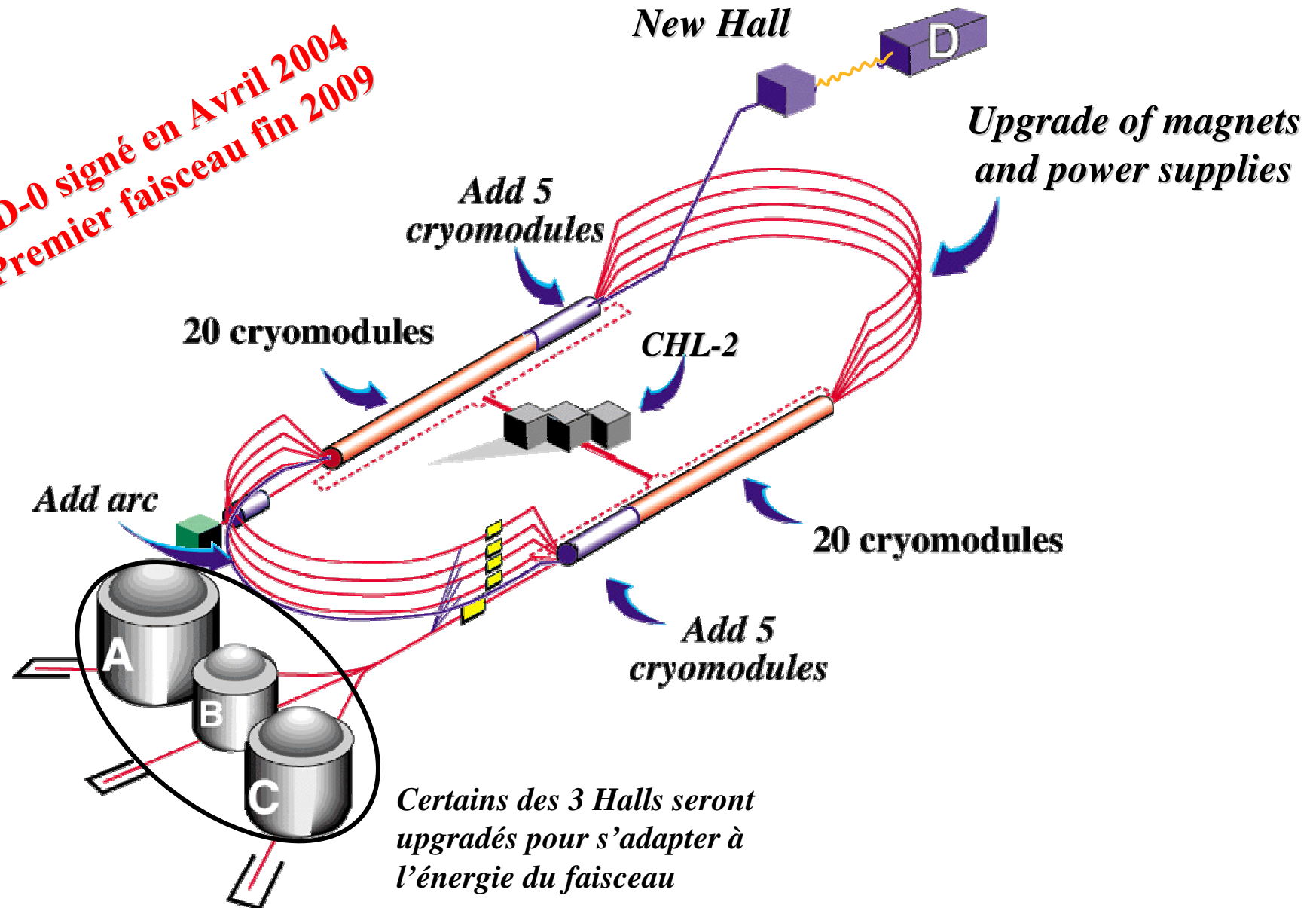


Les avantages de Jefferson Lab 12 GeV:

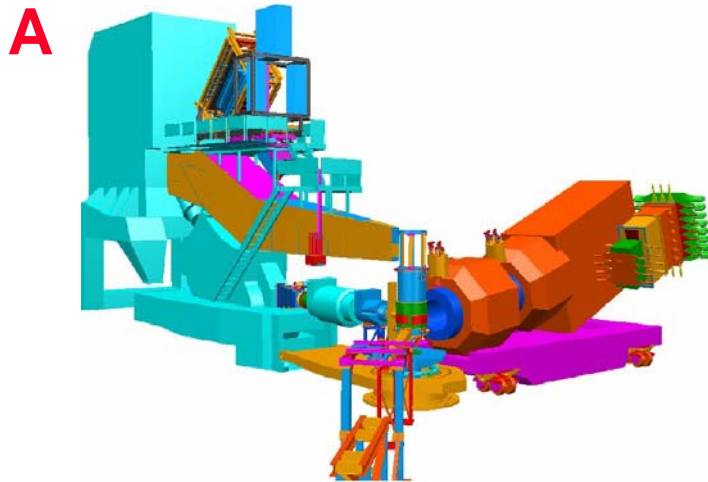
- Faisabilité prouvée et énorme expérience acquise à 6 GeV
- Luminosité $10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \rightarrow 10^{37} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Le pCDR s'appuie fortement sur les GPD pour justifier le financement de CEBAF 12 GeV
- Dans le domaine de valence (GPD de quarks), plus de résolution, de précision et d'exclusivité que les autres grandes expériences

L'upgrade de CEBAF à 12GeV

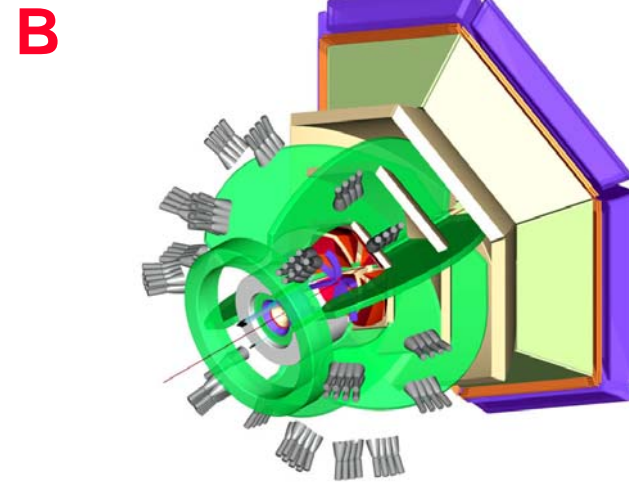
CD-0 signé en Avril 2004
Premier faisceau fin 2009



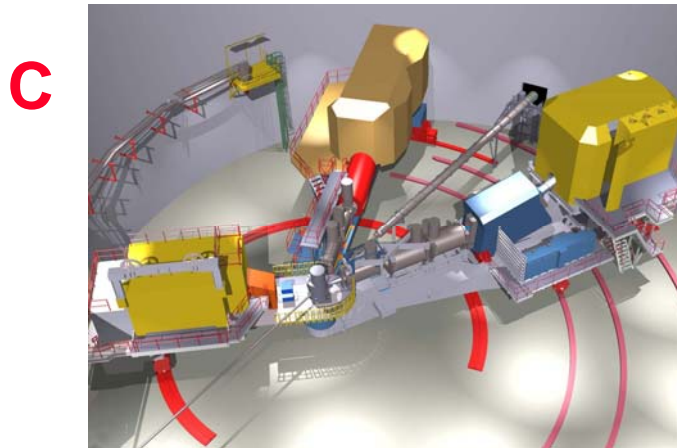
L'upgrade des 3 Halls expérimentaux + Hall D



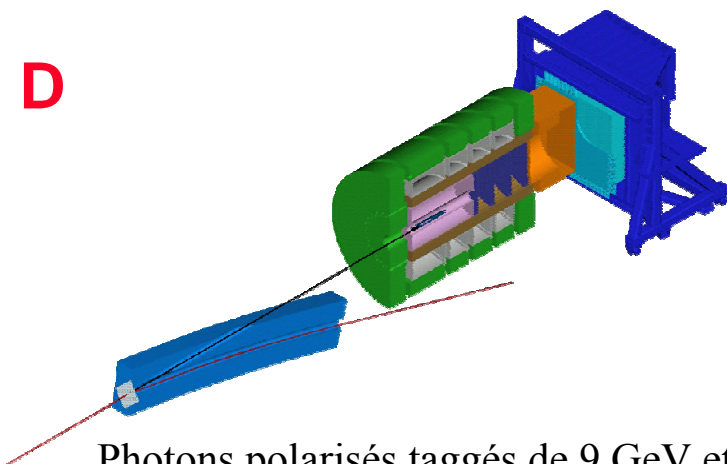
Medium Acceptance Detector (MAD) à haute luminosité



CLAS upgradé à plus haute (10^{35}) luminosité et couverture

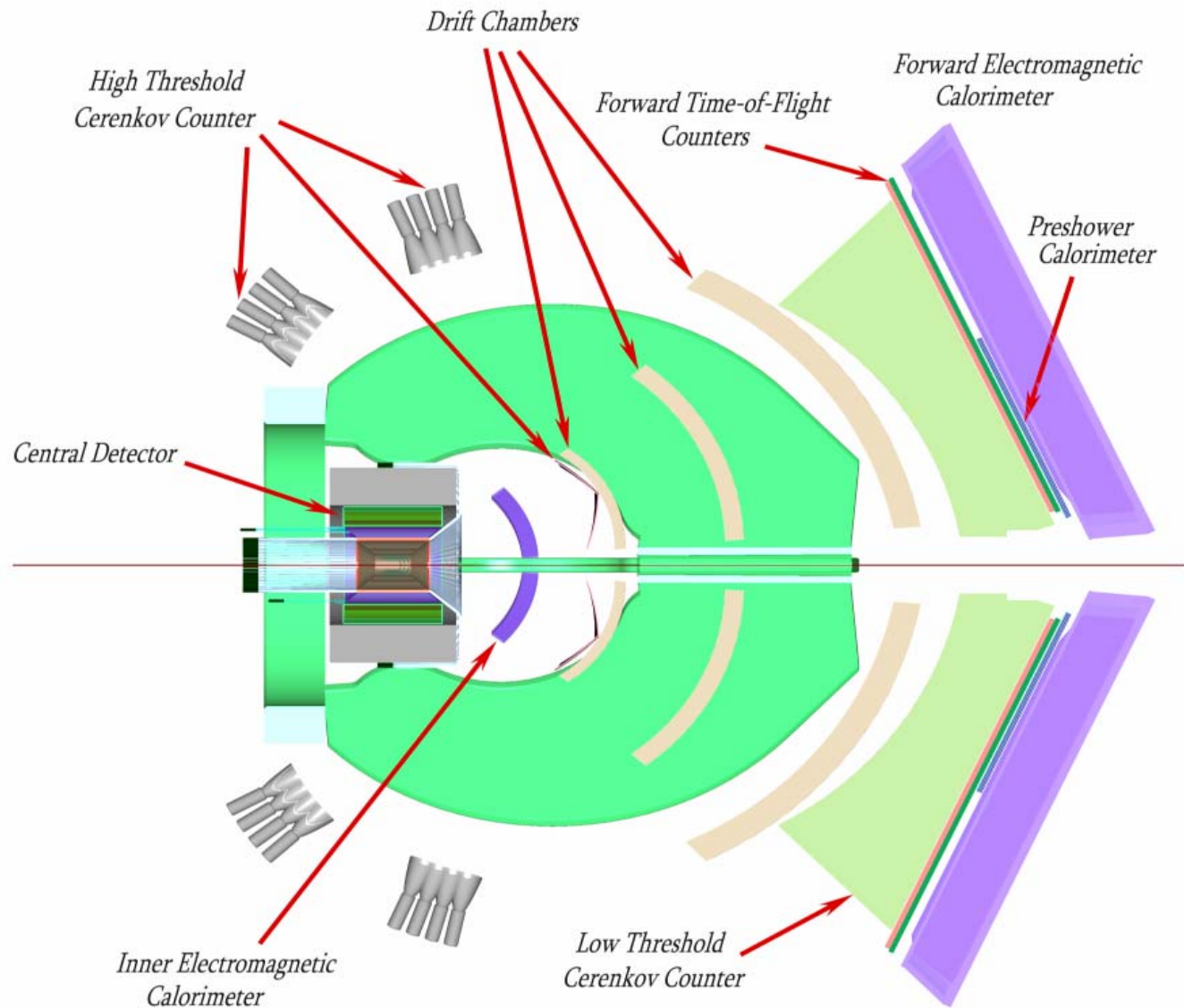


Super High Momentum Spectrometer (SHMS) à haute luminosité and angles avants

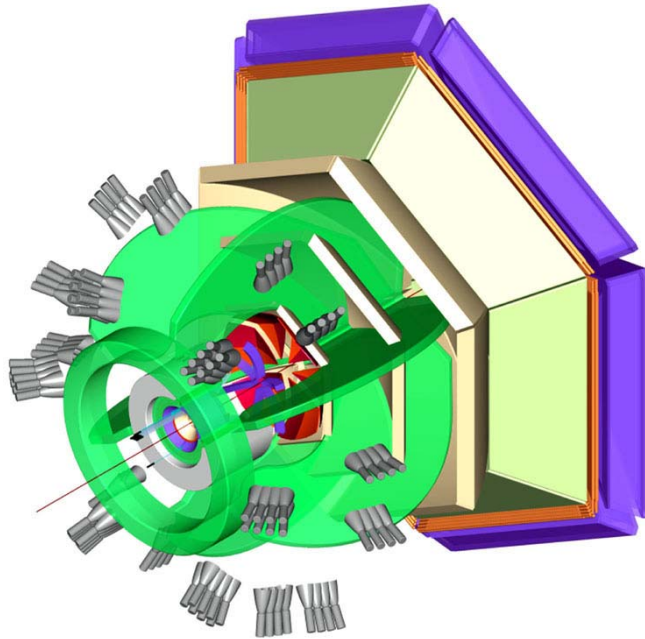


Photons polarisés taggés de 9 GeV et détecteur 4π

La proposition d'upgrade du Hall B: CLAS++



CLAS++ en détails

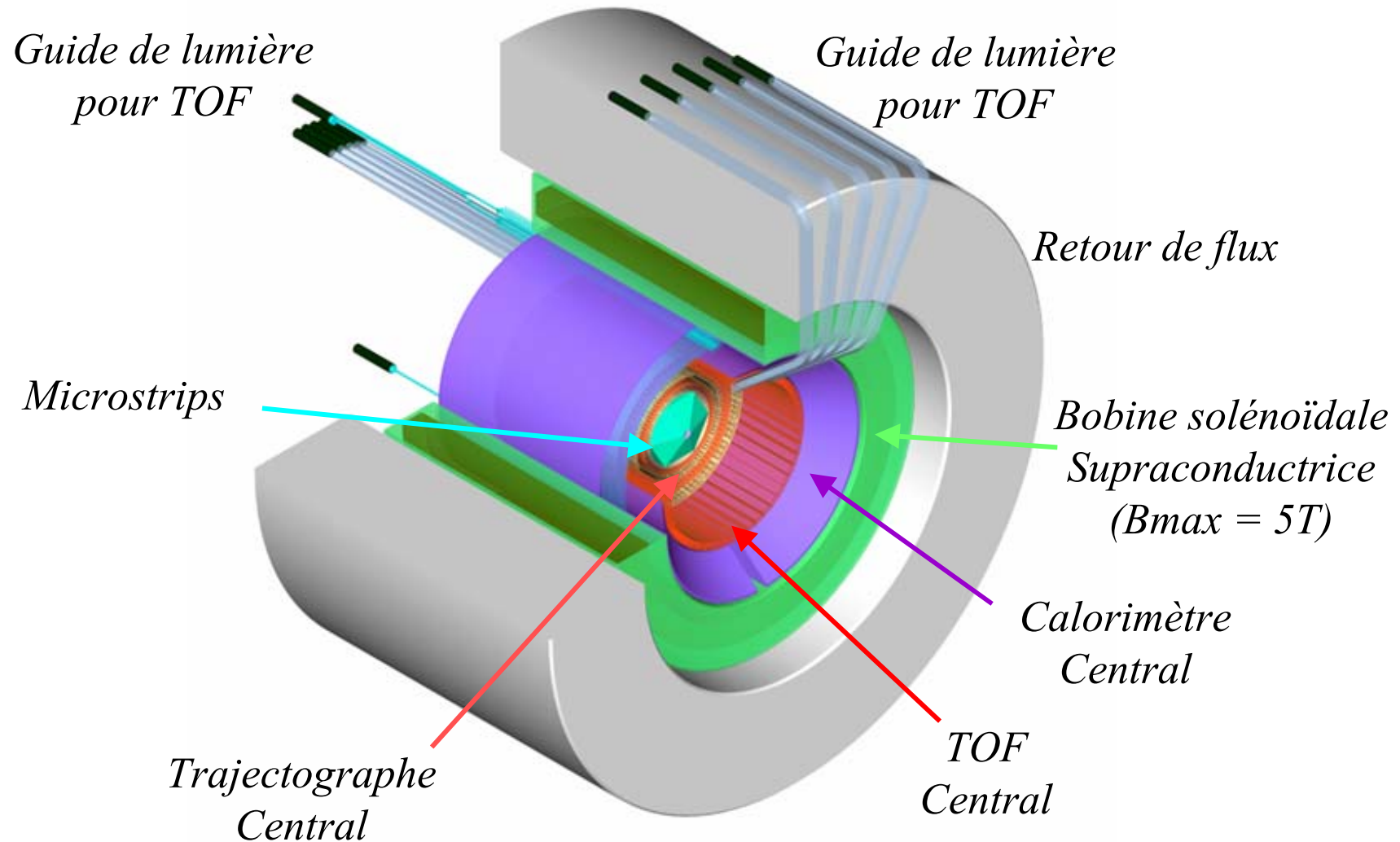


Target	Luminosity ($10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)
H_2	10
3He	15
2H , 4He , ^{12}C , ^{16}O , ..., Pb	20
NH_3 , ND_3 (long. polarization)	20
NH_3 , ND_3 (trans. polarization)	2

Détecteur hermétique à
une luminosité de $10^{35} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

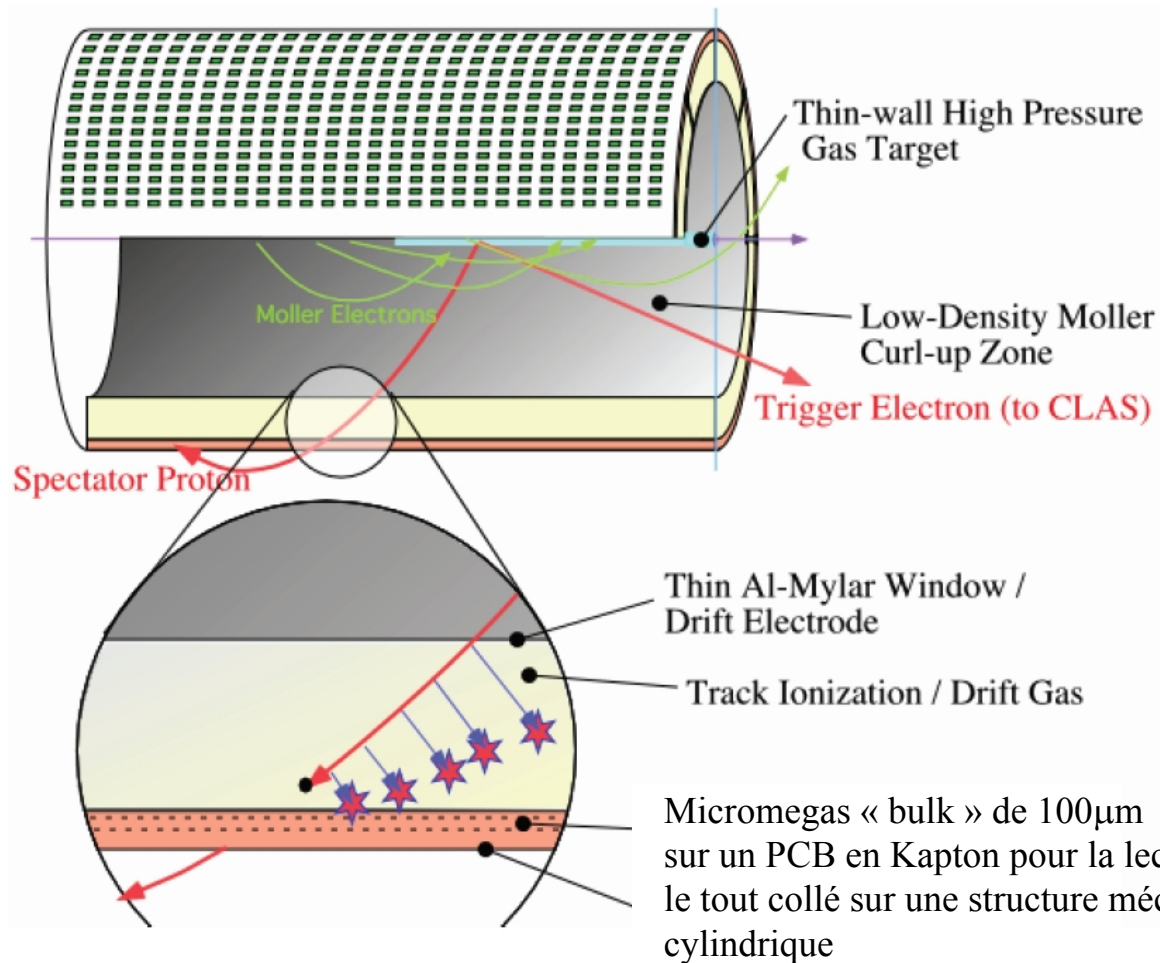
	Forward detector	Central Detector
Angular coverage		
Tracks (inbending)	$8^\circ - 37^\circ$	$40^\circ - 135^\circ$
Tracks (outbending)	$5^\circ - 37^\circ$	$40^\circ - 135^\circ$
Photons	$3^\circ - 37^\circ$	$40^\circ - 135^\circ$
Track resolution		
$\delta p/p$	$0.003 - 0.001p$	$\delta p_T/p_T = 0.02$
$\delta\theta(\text{mr})$	1	8
$\delta\phi(\text{mr})$	2 - 5	2
Photon detection		
Energy range (MeV)	> 150	> 60
$\delta\theta(\text{mr})$	4 (1 GeV)	15 (1 GeV)
Neutron detection		
η_{eff}	0.5 ($p > 1.5 \text{GeV}/c$)	NA
Particle id		
Electron/pion	> 1000 ($p < 4.8 \text{GeV}/c$) > 100 ($p > 4.8 \text{GeV}/c$)	NA NA
π^+/π^-	full range	$< 0.65 \text{GeV}/c$
K/ π	full range	$< 0.65 \text{GeV}/c$
$K^+/p, K^-/p$	$< 4.5 \text{GeV}/c$	$< 0.90 \text{GeV}/c$
$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$	full range	full range
$\eta \rightarrow \gamma\gamma$	full range	full range

Le détecteur central: potentiellement européen?



2 solutions techniques pour le trajectographe central

1. TPC radiale avec lecture par Micromegas cylindrique sur Bulk

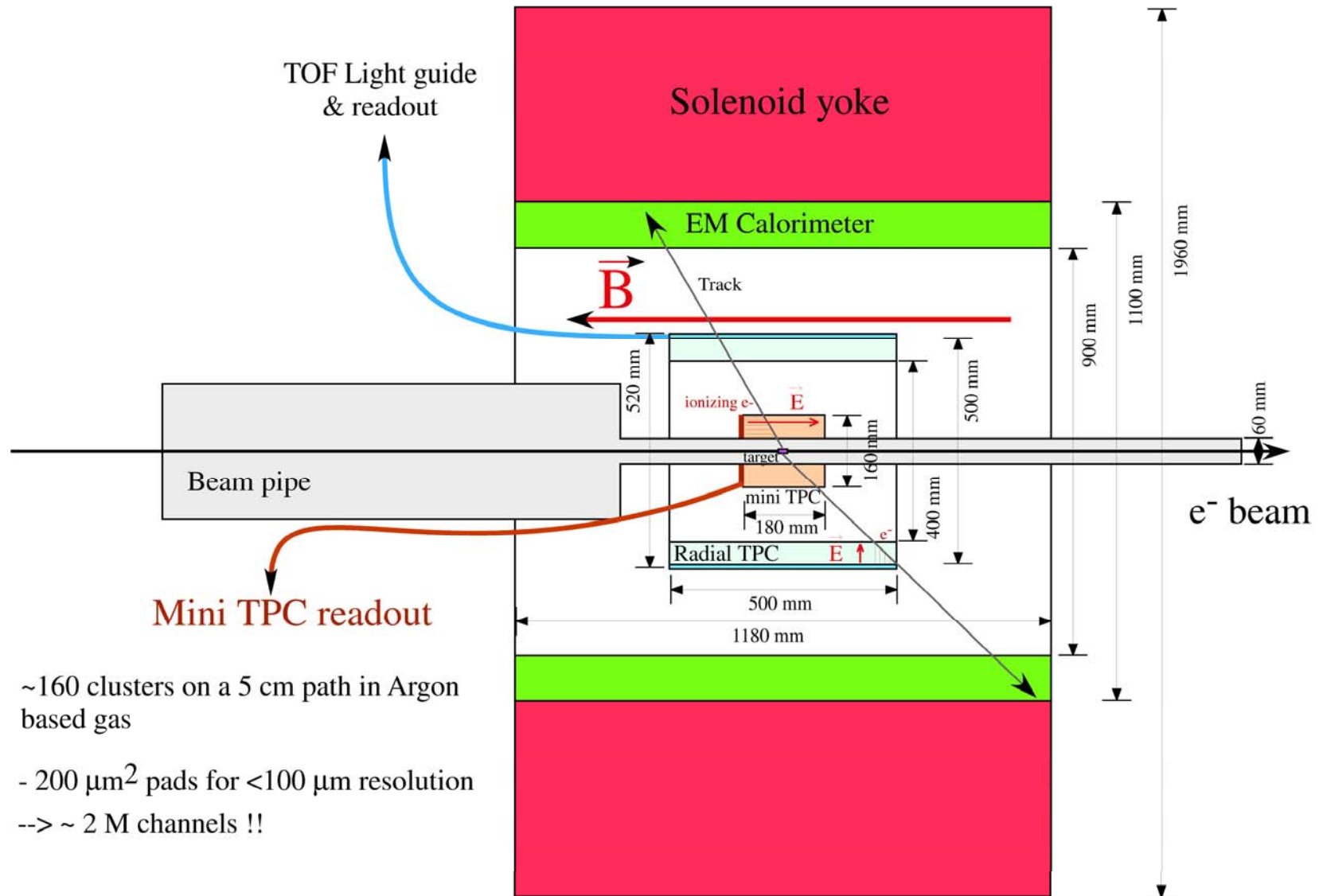


Solution technique permettant de garder l'épaisseur du gap d'amplification constante

Etude de A. Delbart
DAPNIA/SEDI

2 solutions techniques pour le trajectographe central

2. Une mini-TPC « classique » de diamètre 16cm et longueur 18cm



Sur le papier, la solution mini-TPC est avantageuse...

- Mini TPC : Diamètre 16cm, longueur 18cm
 - Configuration classique $B // E_{\text{drift}}$
 - Un seul plan de lecture à l'arrière

- **Avantages**
 - Trajectographie plus facile et classique
 - Structure mécanique simple, Micromegas « plate » pour l'amplification
 - L'épaisseur de matériau pour la lecture (PCB) se situe à l'arrière

- **Inconvénients**

Résolution spatiale nécessaire $< 100 \mu\text{m}$!

→ Haute densité de pads (à évaluer et principe de lecture à examiner)

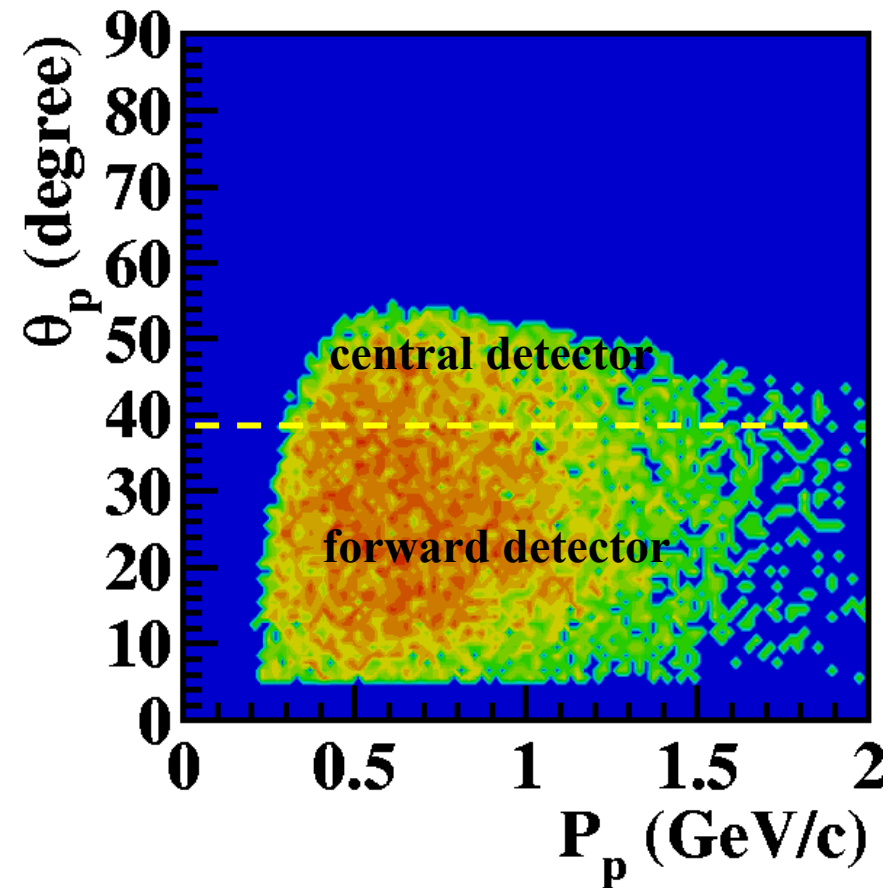
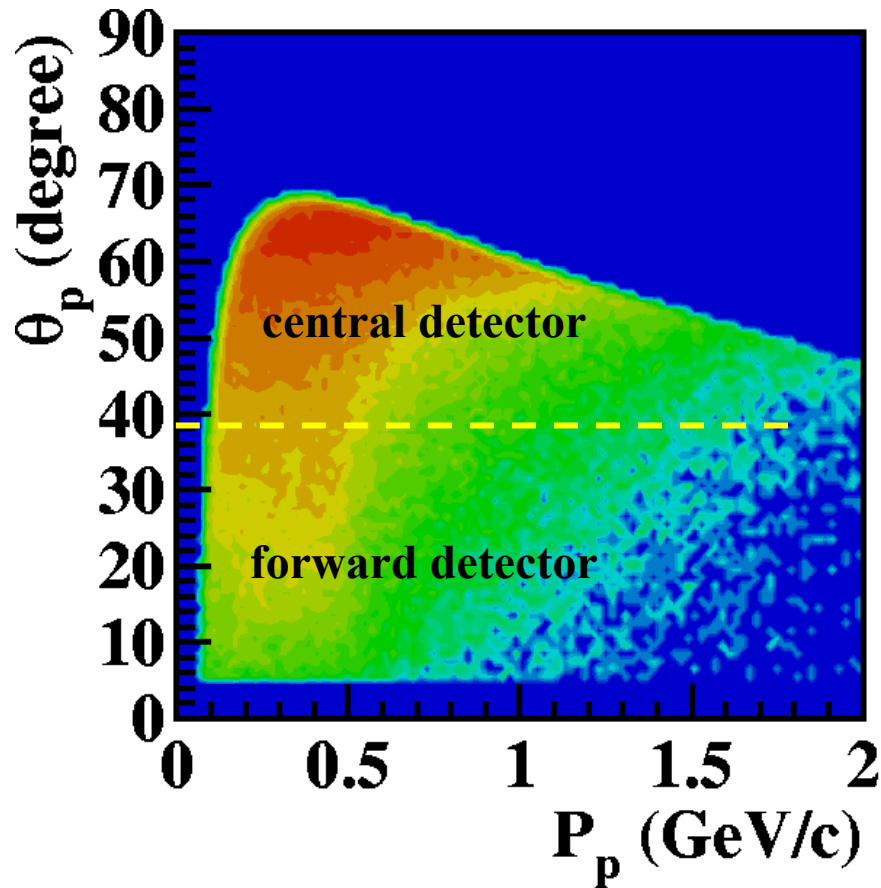
- **Attention!**
 - Le champs magnétique dans le volume de la mini-TPC doit être homogène

Espace de phase du proton pour la réaction $ep \rightarrow ep\gamma$

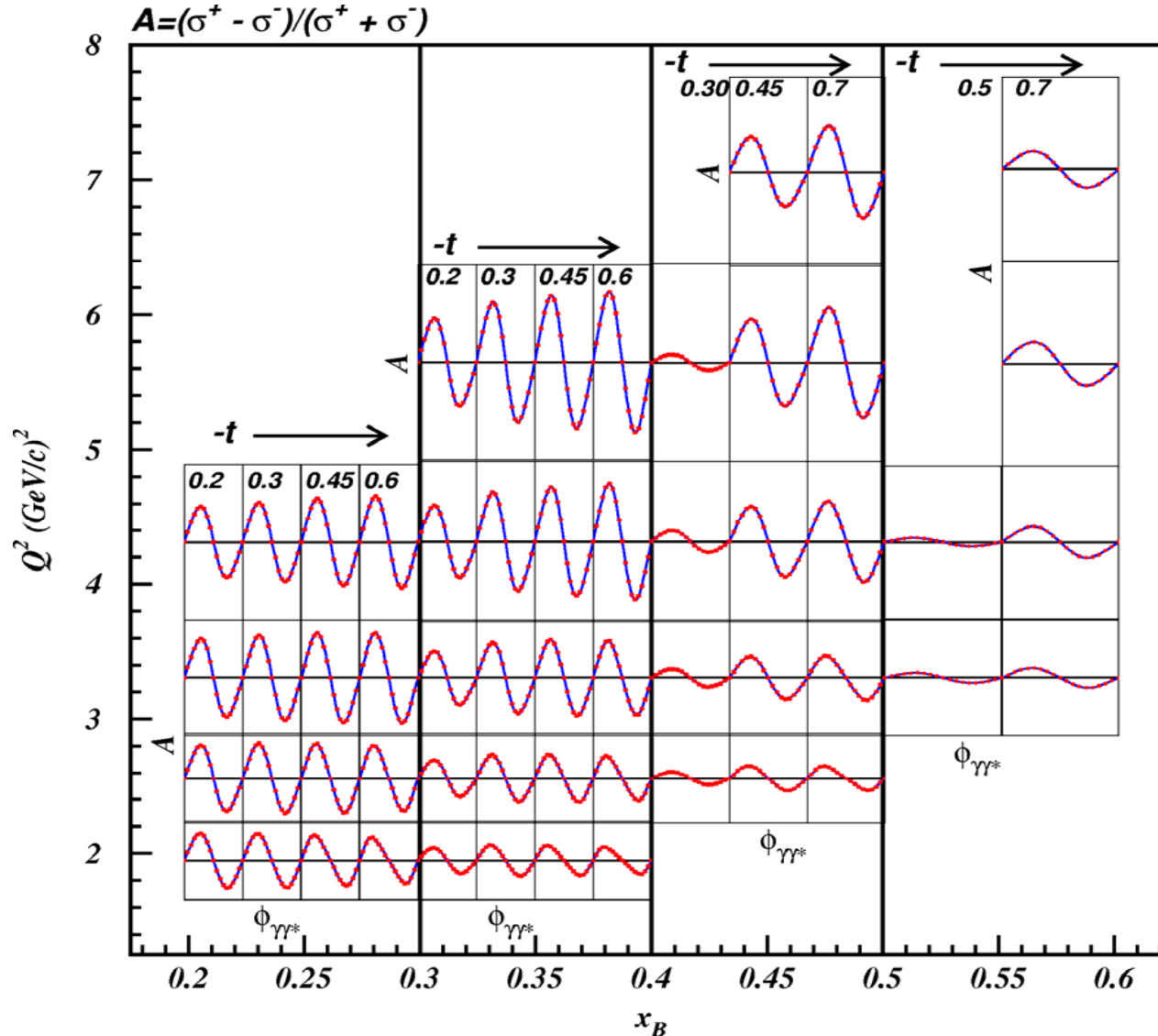
$$E_{\text{beam}} = 11 \text{ GeV}$$

$$Q^2 = 2.5 \text{ GeV}^2$$

$$Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$$



Exemple de données potentielles pour le DVCS: $ep \rightarrow ep\gamma$

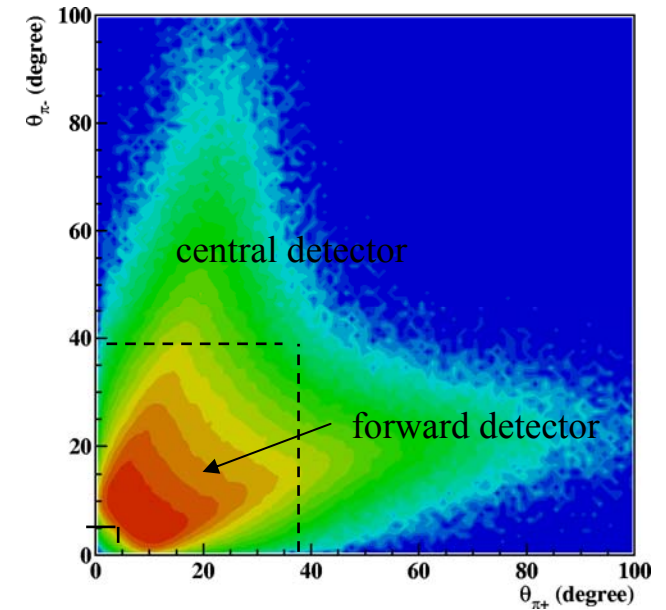
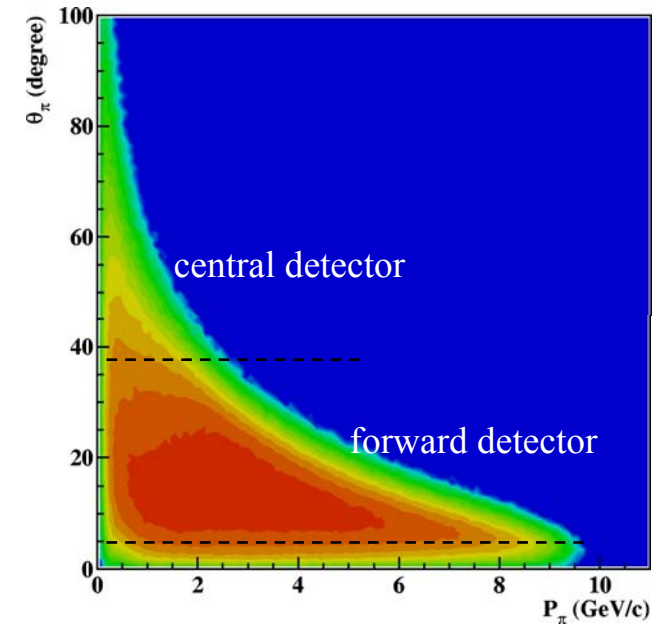
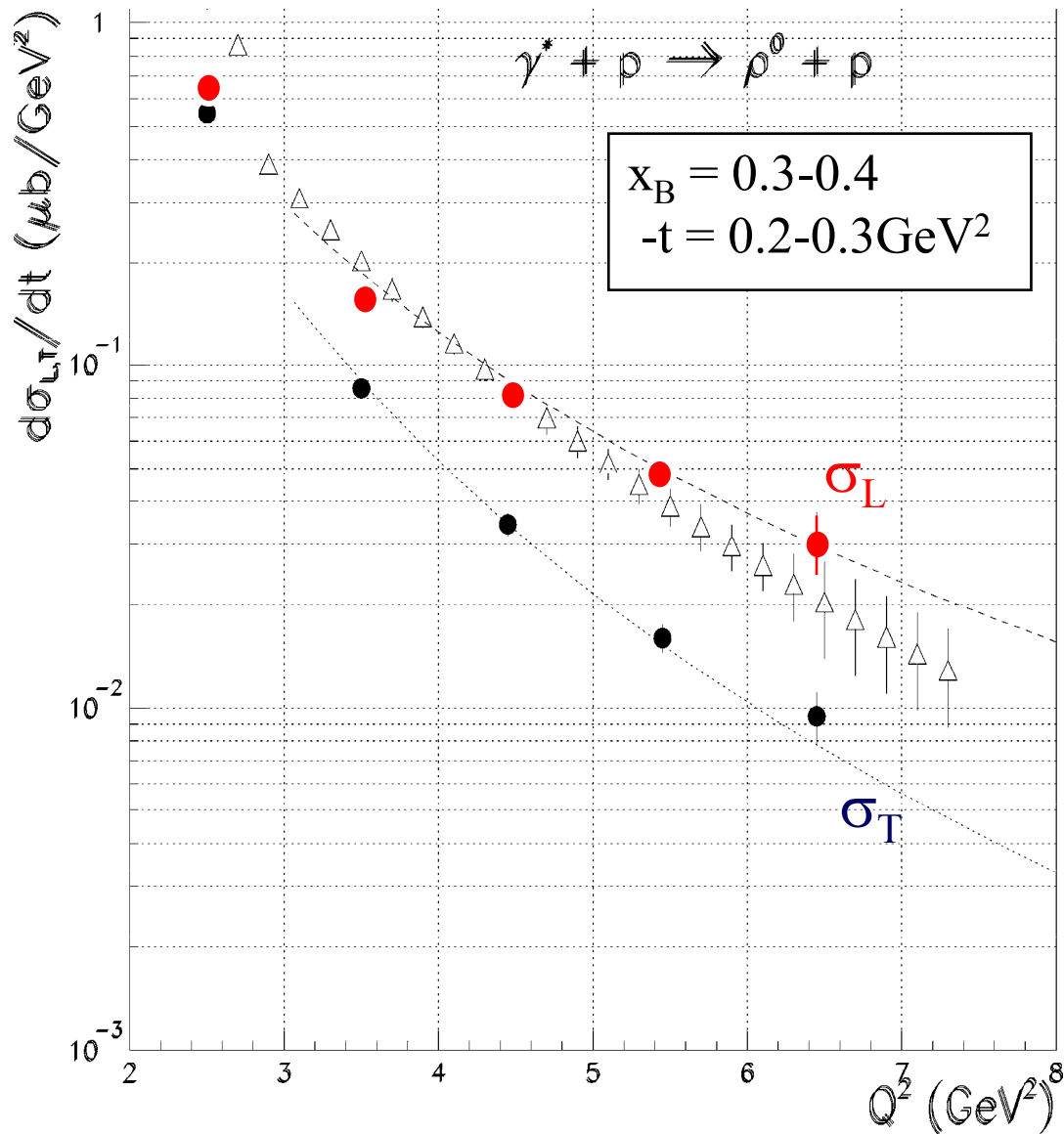


4 mois de faisceau

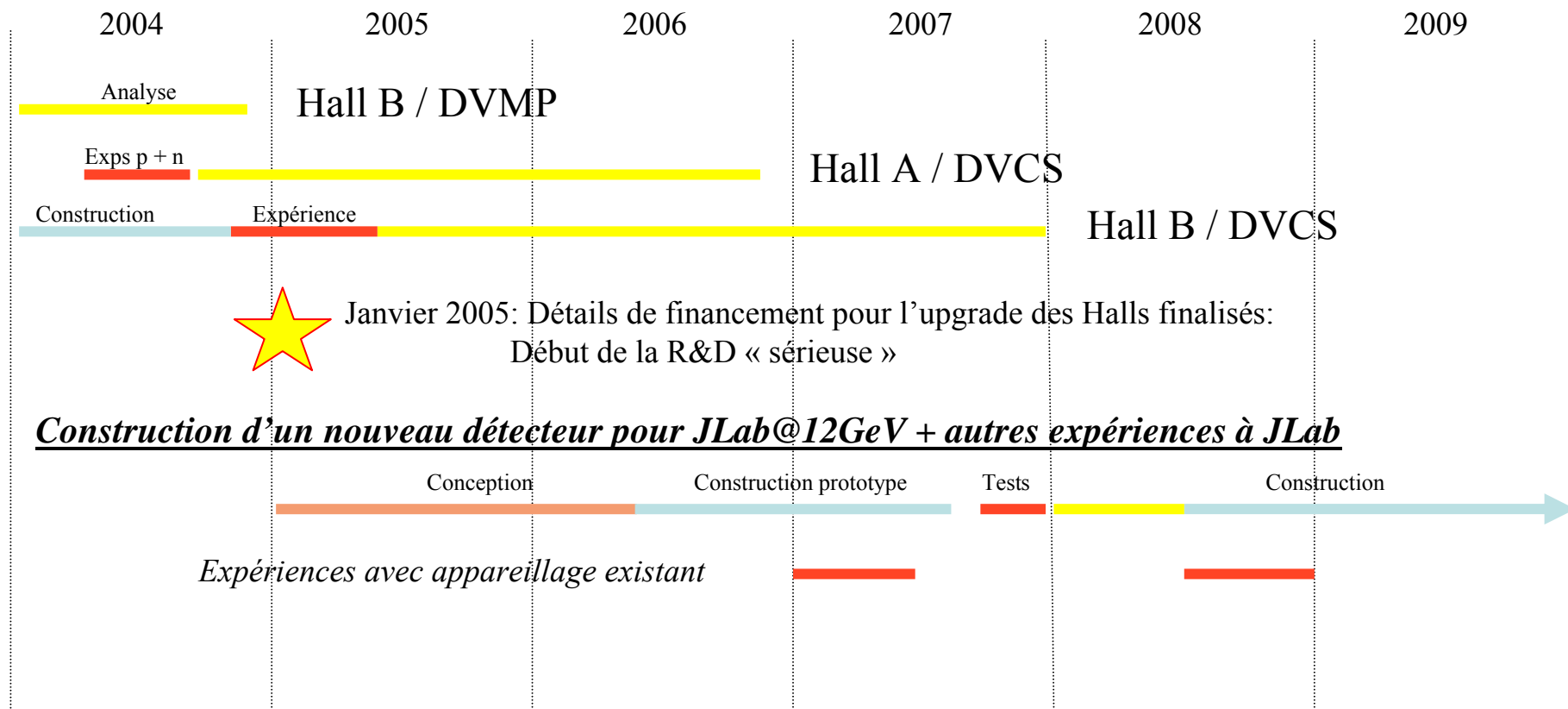
Environ 1000 points mesurés simultanément dans un grand domaine en Q^2 , x et t

En pratique, tous les processus exclusifs dur seront mesurés simultanément

Mesure des GPDs avec par exemple: $ep \rightarrow epp (\pi^+\pi^-)$



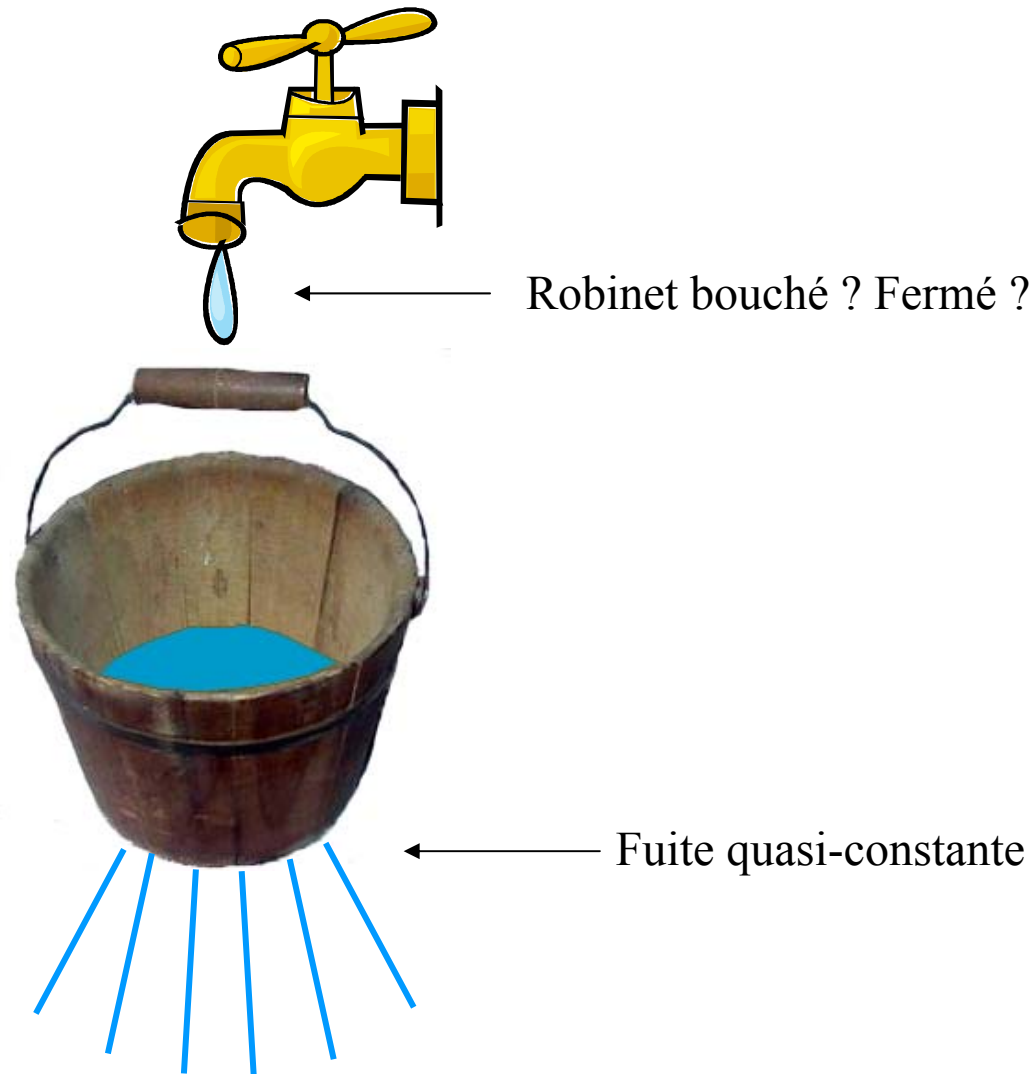
Activités à Jefferson Lab d'ici 2010



Les GPD à Jefferson Lab dans les années à venir

- Actuellement, 4 laboratoires Français sont intéressés par cette thématique: DAPNIA/SPhN, LPC Clermont, LPSC Grenoble, IPN Orsay
- Jefferson Lab à 12GeV se positionne comme le meilleur labo au monde pour l'étude des GPD dans la région de valence: *cette problématique est au centre de l'argumentaire* pour l'upgrade et les avantages expérimentaux sont nombreux: ***grande luminosité, grand domaine cinématique, exclusivité assurée par la détection de l'état final complet*** à chaque évènement (et non pas par une exclusivité vérifiée « globalement »)
- Les Français ont depuis toujours eu un rôle moteur dans cette thématique tant en théorie qu'au niveau expérimental : **Toutes les expériences en rapport avec les GPD à JLab ont au moins un porte-parole Français !**
- ***La définition des différents sous-projets de l'upgrade est en cours.*** En particulier, dès janvier 2005, une décision sera prise sur la priorité à l'upgrade pour les différents Halls. Il est indispensable de se positionner rapidement et ainsi **assurer la visibilité française dans les futurs projets de Jefferson Lab et notamment sur les futures mesures décisives liées aux GPD**

Le problème humain de la physique hadronique



Autres thématiques de l'IN2P3 et du DAPNIA, retraites, ...