

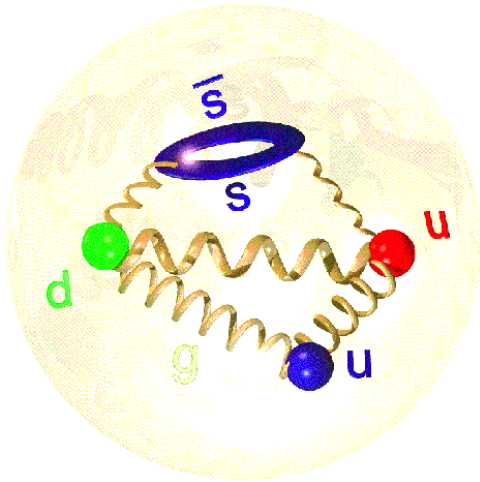
# Contenu en étrangeté du nucléon: Expérience $G^0$ au JLab

---

- La physique de  $G^0$  ( facteurs de forme électrofaibles du nucléon )
- Dispositif expérimental
- Premiers résultats de commissioning

# Structure du nucléon et quark étrange

- **Nucléon de QCD** : 3 quarks de valences confinés par interaction forte (gluons)



$$P = uud + \underbrace{u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s} + \dots + g}_{\text{« mer »}}$$

Matérialisation des gluons  
en paires de quark-antiquarks

↘  
joue un rôle non négligeable  
dans les propriétés du nucléon  
(masse, spin .....

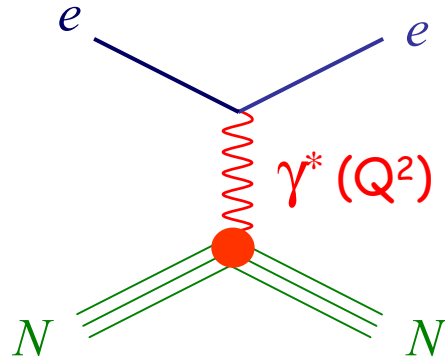
- $m_u \approx m_d \approx 5 \text{ MeV}$      $m_s \approx 100 \text{ MeV}$     (  $m_c, m_b, m_t > 1 \text{ GeV}$  )

Le quark étrange (s) est le plus léger n'ayant pas de contribution de valence  
↘ le candidat le plus accessible pour l'étude de la mer

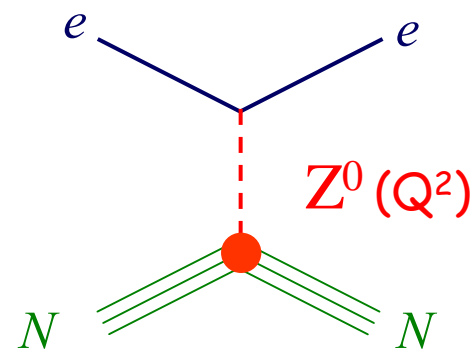
→ **Expérience G0** : Contribution du quark étrange aux facteurs de forme  
(distribution de charge et de courant)  
Mesure en diffusion élastique électron – nucléon

# Facteurs de forme électrofaibles du nucléon (I)

## Interaction électromagnétique



## Interaction faible



**Courant hadronique + Lois de conservation** (invariance de Lorentz, conservation de la charge, .....)

$$\langle N | \hat{J}_\mu^{(\gamma, N)} | N \rangle = \bar{U} \left[ \gamma_\mu \square + i \frac{\sigma^{\mu\nu} q_\nu}{2M_N} \square \right] U$$

$F_{1,2}^{(\gamma, N)}$  : Facteurs de forme de Pauli-Dirac électromagnétiques

$$\langle N | \hat{J}_\mu^{(Z, N)} | N \rangle = \bar{U} \left[ \gamma_\mu \square + i \frac{\sigma_{\mu\nu} q^\nu}{2M_N} \square + \gamma_\mu \gamma_5 \square \right] U$$

$F_{1,2}^{(Z, N)}$  : Facteurs de forme de Pauli-Dirac faibles

$G_A^{(Z, N)}$  : Facteur de forme axial

**Nucléon  $\neq$  particule ponctuelle  $\rightarrow$  Facteurs de forme de Pauli-Dirac**

# Facteurs de forme électrofaibles du nucléon (II)

- Facteurs de forme de Sachs :  
$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{électrique} & G_E(Q^2) = F_1(Q^2) - \tau F_2(Q^2) \\ \text{magnétique} & G_M(Q^2) = F_1(Q^2) + F_2(Q^2) \end{array} \right.$$

(avec  $\tau = \frac{Q^2}{4M^2}$  )

→ Référentiel de Breit  $\equiv$  Transformées de Fourier des distributions de charges et de courants

$$G_E(Q^2) = \int \rho_{ch}(\vec{r}) e^{i\vec{q}\vec{r}} d^3r \qquad G_M(Q^2) = \int \rho_m(\vec{r}) e^{i\vec{q}\vec{r}} d^3r$$

- A  $Q^2 = 0$ , ils s'identifient aux propriétés statiques du nucléon

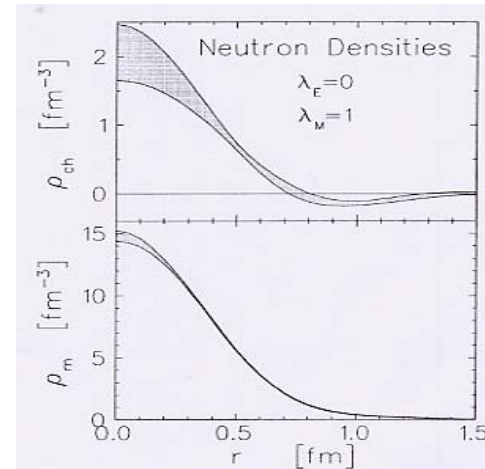
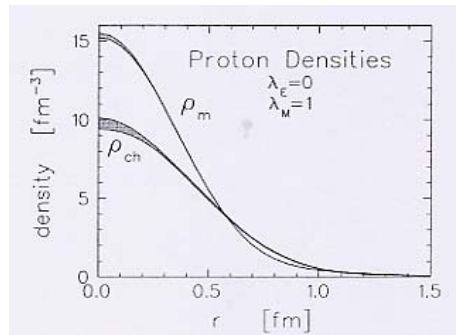
$$\left\{ \begin{array}{l} G_E^N(0) \equiv q_N \\ G_M^N(0) \equiv \mu_N \end{array} \right.$$

# Facteurs de forme électrofaibles du nucléon (III)5

- Facteurs de forme électromagnétiques  $G_E^{\gamma,N}, G_M^{\gamma,N}$  **mesurés expérimentalement**

- - Mesure de section efficace absolue (séparation de Rosenbluth)
- Mesure de transfert de polarisation

Par transformée de Fourier (  $Q^2 \leftrightarrow r$  ) :



- Facteurs de forme faibles  $G_E^{Z,N}, G_M^{Z,N}, G_A^e$  **mal connus**

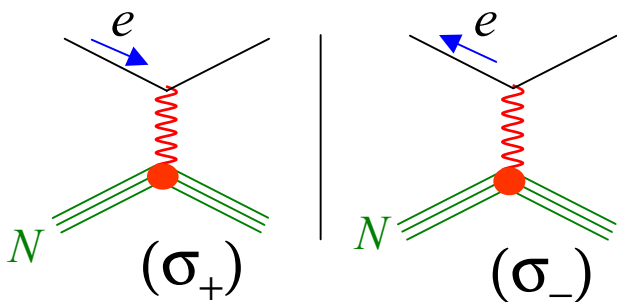
- Vaste programme expérimental ( violation de parité )

# Violation de parité en diffusion élastique e-p

- $\sigma_{ep \rightarrow ep} \propto \left| \begin{array}{c} \text{diagram 1} \\ + \\ \text{diagram 2} \end{array} \right|^2$ 

$Q^2 \approx 1 \text{ (GeV/c)}^2$ ,  $M_Z \approx 10^{-5} M_\gamma$   
 erreur systématique  $\approx 1 \%$   
 → Extraction de  $M_Z$  impossible

- $\sigma_{\vec{e}p}$  dépend de l'hélicité de l'électron :
  - Inter. EM : conservation de la parité
  - Inter. faible : violation de la parité



$$A_{PV} \equiv \frac{\sigma_+ - \sigma_-}{\sigma_+ + \sigma_-} \approx \frac{\Re e(M^\gamma \cdot M^Z)}{|M^\gamma|^2} \approx 10^{-6}$$

(erreurs de normalisation disparaissent dans le rapport)

- $$A_{PV} = -\frac{G_F Q^2}{4\sqrt{2}\pi\alpha} \frac{\varepsilon G_E^{(v,p)} + \tau G_M^{(v,p)} - (1 - 4\sin^2\theta_W) \varepsilon' G_M^{(v,p)}}{\varepsilon (G_E^{(v,p)})^2 + \tau (G_M^{(v,p)})^2}$$

# Contribution du quark étrange aux facteurs de forme

- Décomposition sur les saveurs de quarks

$$G_{E,M}^{(\gamma,N)} = \sum_{q=u,d,s} Q_q G_{E,M}^{(q,N)} \quad G_{E,M}^{(Z,N)} = \sum_{q=u,d,s} (2T_3^q - 4 Q_q \sin^2 \theta_W) G_{E,M}^{(q,N)}$$

(on néglige les quarks les plus lourds c,b,t)

- Symétrie d'isospin (neutron  $\leftrightarrow$  proton)

$$\begin{pmatrix} u \leftrightarrow d \\ d \leftrightarrow u \\ s \leftrightarrow s \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{cases} G_{E,M}^{u,p} = G_{E,M}^{d,n} \\ G_{E,M}^{d,p} = G_{E,M}^{u,n} \\ G_{E,M}^{s,p} = G_{E,M}^{s,n} \end{cases}$$



$$4 \cdot G_{E,M}^{Z,p} = (1 - 4 \cdot \sin^2 \theta_W) \cdot G_{E,M}^{\gamma,p} - G_{E,M}^{\gamma,n} - G_{E,M}^S$$

# Expérience $G^0$ : Principe de la mesure et Dispositif expérimental

- Mesure de  $G_E^s, G_M^s$  and  $G_A(T=1)$  à  $Q^2 = 0.3, 0.5$  et  $0.8$   $(\text{GeV}/c)^2$

$$A_{pv} A_{pv} = f(G_E^Z, G_M^Z, G_A^e) + \xi \cdot G_A^e \quad \rightarrow \quad \text{Séparation de Rosenbluth}$$

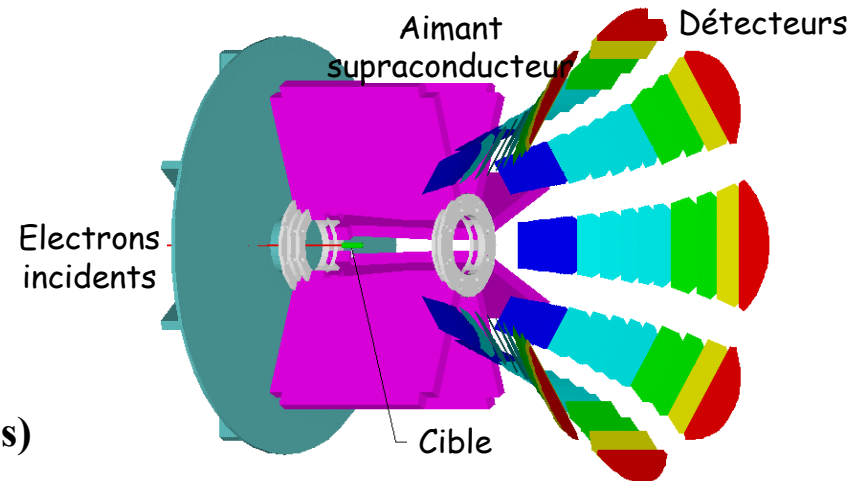
Pour chaque  $Q^2$   
3 combinaisons linéaires

{	2 asymétries en diffusion élastique e-p
	1 asymétrie en diffusion quasi-élastique e-d

- $A_{pv} \sim -3$  to  $-40$  ppm,  $\Delta A_{pv}/A_{pv} \sim 5\%$

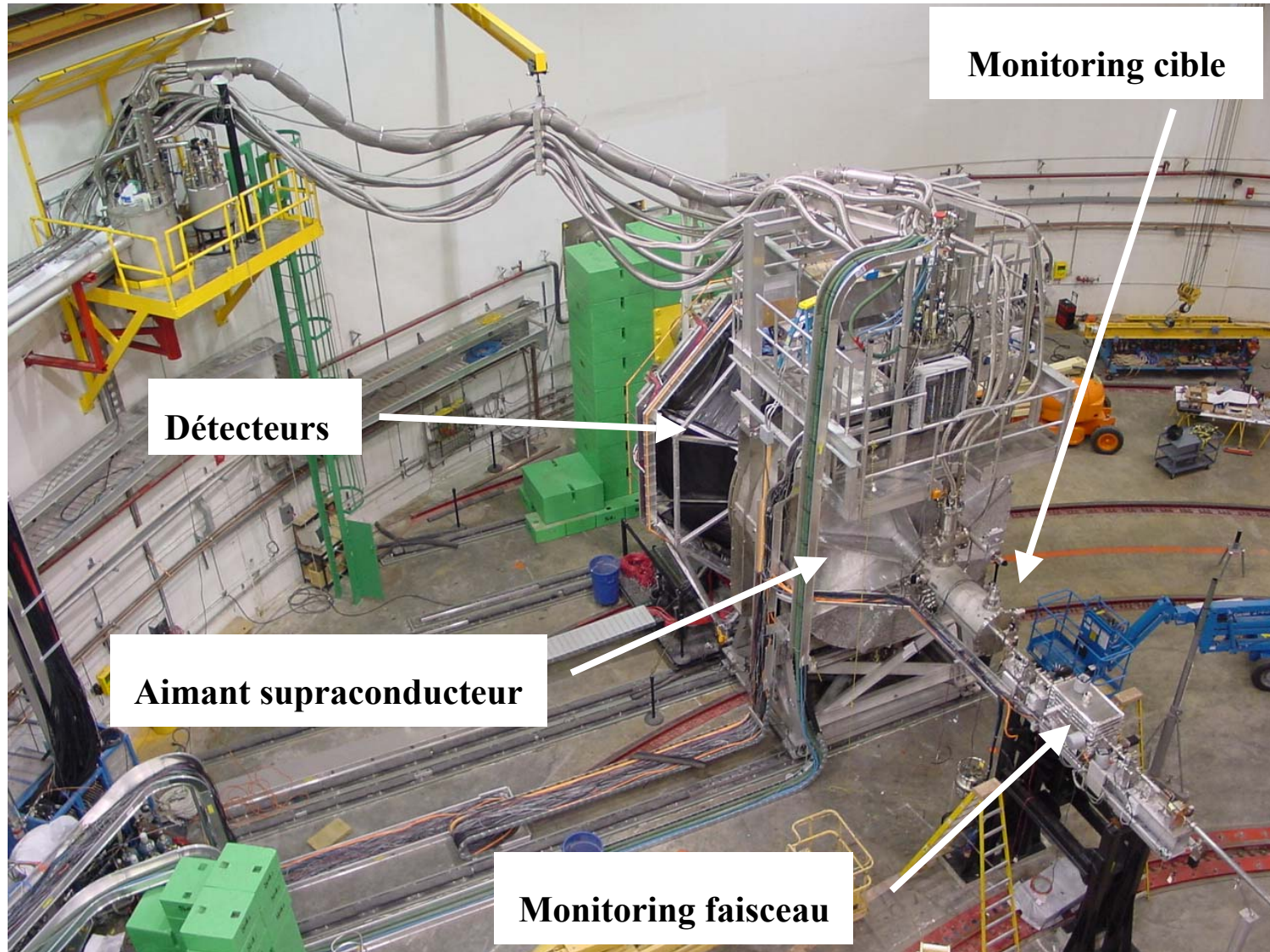
Forte statistique ( $10^{13} - 10^{14}$  evts)  
minimisation des effets systématiques

- - Faisceau de Jlab (CEBAF)  
forte intensité  $40\mu\text{A}$  (polarisation 75%)
  - Cible étendue 20 cm : LH2 ou LD2
  - Grand angle solide :  
8 octants de détection (16 paires de scintillateurs)  
symétriques par rapport à l'axe du faisceau





# $G^0$ : Dispositif Expérimental

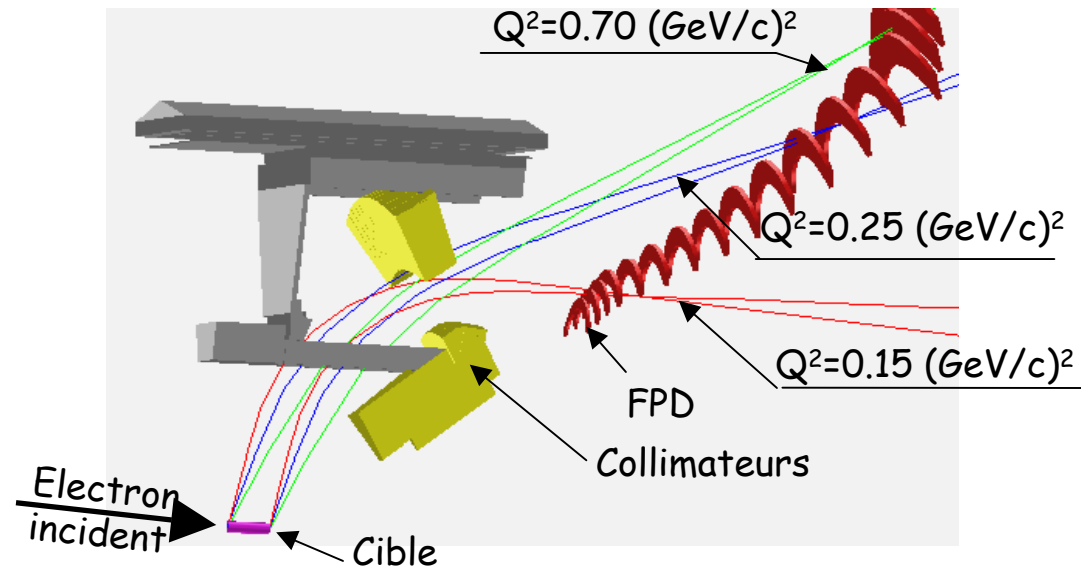


# $G^0$ : Principe de la mesure aux angles avant

- Cible  $LH_2$  ,  $E_e = 3 \text{ GeV}$

→ Détection du proton de recul  
 $\theta_p = 45\text{-}75 \text{ deg}$

1 combinaison linéaire pour chaque  $Q^2$



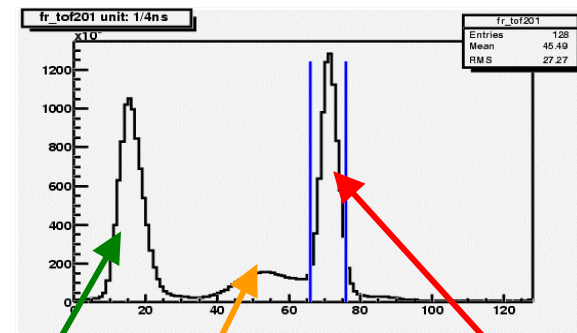
- Bruit de fond :

- Neutre :  $\gamma$  et neutron

→ collimateurs

- Chargé : protons inélastiques et  $\pi^+$

→ Mesure de temps de vol



$\pi^+$

Protons  
inélastiques

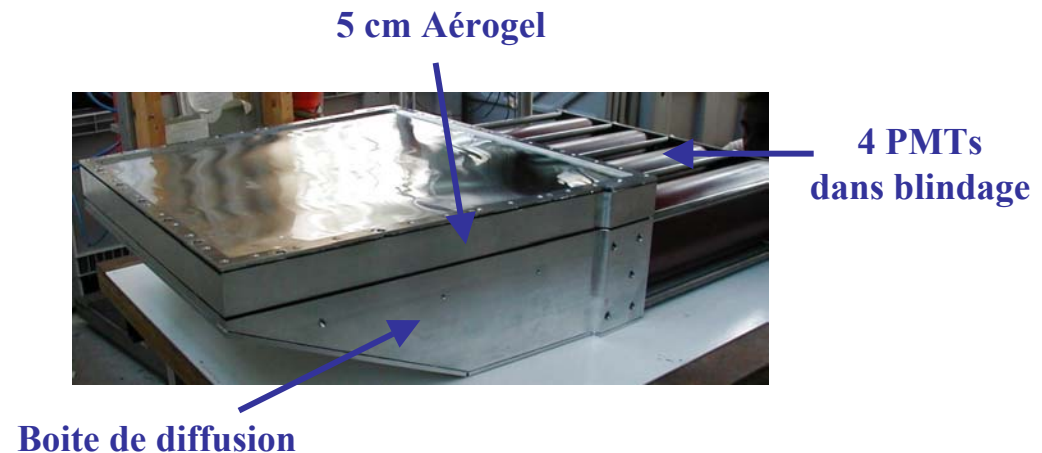
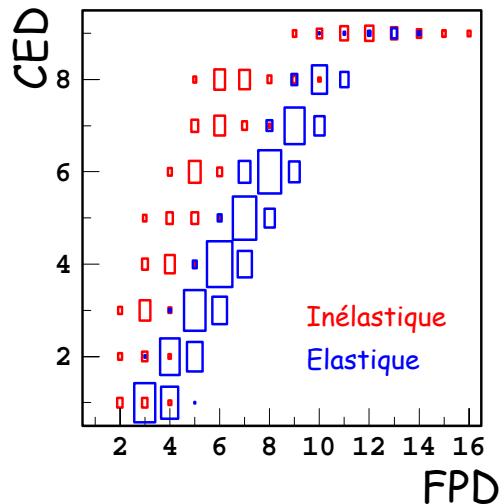
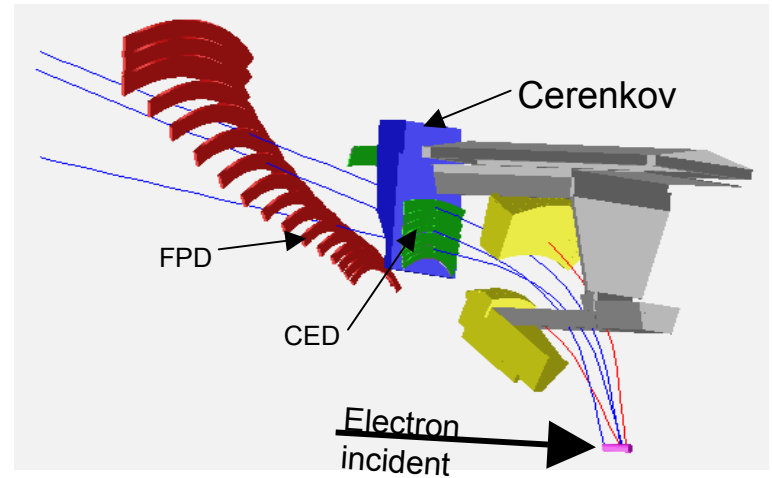
Protons  
élastiques

# $G^0$ : Principe de la mesure aux angles arrière

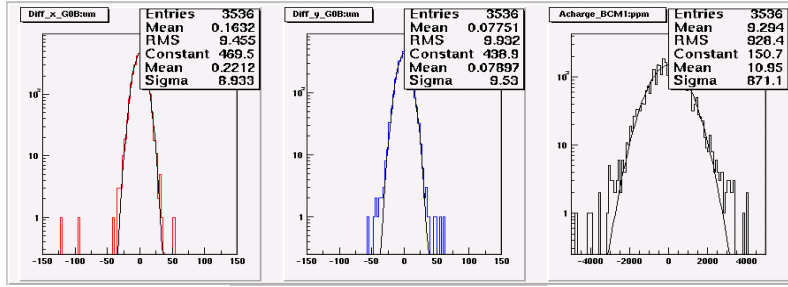
- Cible  $LH_2$  et  $LD_2$  ,  
 $E_e = 424, 576, 799 \text{ MeV}$
- ➔ Détection de l'électron diffusé à  $\theta_e = 110 \text{ deg}$
- 2 combinaisons linéaires pour chaque  $Q^2$

- Bruit de fond chargé:

- **électrons inélastiques** : ➔ Trajectoire : Matrice de coïncidences
- **piens  $\pi^-$**  : ➔ Impulsions : Compteur Cerenkov à seuil (LPSC Grenoble)



# Premiers résultats de Commissioning (angles avant)



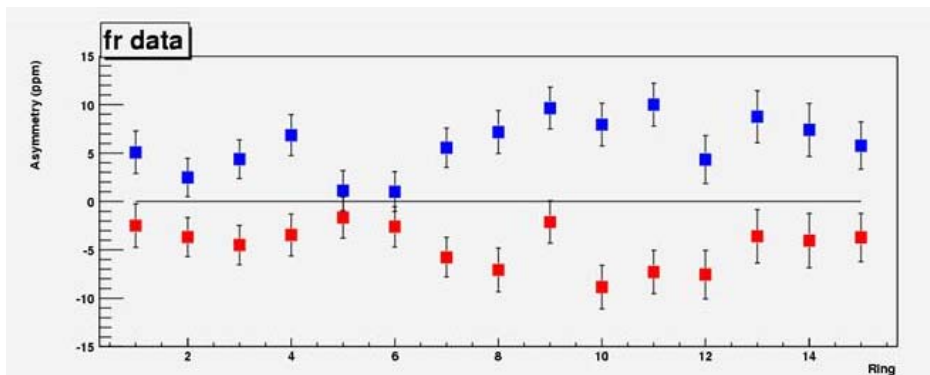
$\Delta_x \sim 0.2 \mu\text{m}$      $\Delta_y \sim 0.08 \mu\text{m}$      $A_I \sim 9 \text{ ppm}$   
 $\sigma_{\Delta x} \sim 9 \mu\text{m}$      $\sigma_{\Delta y} \sim 10 \mu\text{m}$      $\sigma_{A_I} \sim 870 \text{ ppm}$

Propriétés faisceau (1 heure de données)

→ Paramètres faisceau  
satisfont le cahier des charges

{ courant :  $\Delta I/I < 1 \text{ ppm}$   
position :  $\Delta x < 20 \text{ nm}$   
polarisation : 75 %

Asymétries obtenues (50 heures de faisceau)



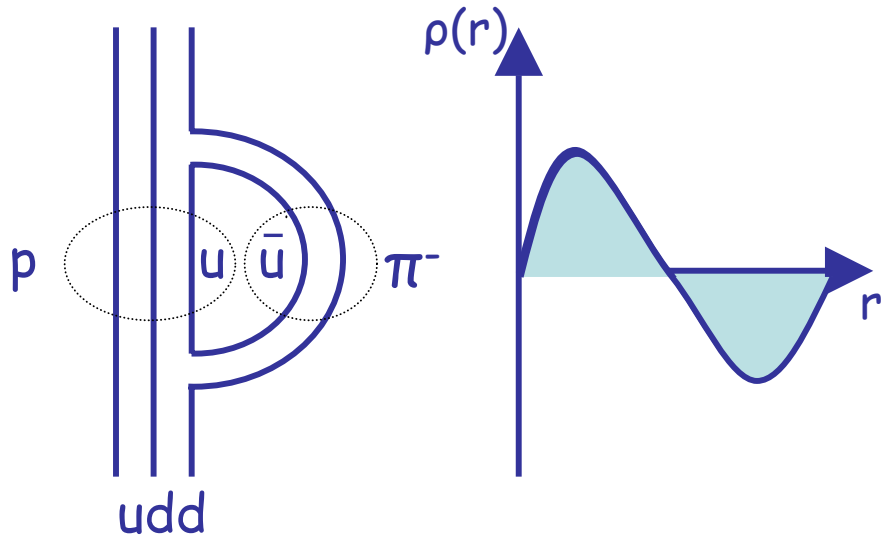
→ Bon contrôle de  
la systématique

# Conclusions

- Expérience  $G^0$  : Séparation complète de  $G_E^S$ ,  $G_M^S$  et  $G_A$ , sur une grande gamme en  $Q^2$  (0.3 à 0.8 (GeV/c)<sup>2</sup>)
- Le run de commissioning s'est déroulé avec succès
- Second run de commissioning cet hiver
- Prise de données physiques aux angles avant vont suivre au printemps 2004 (700 heures)
- Prise de données physiques aux angles arrières sont prévues pour 2005-2007 (6 X 700 heures)

# Distribution d'étrangeté

## Distribution de charge du neutron



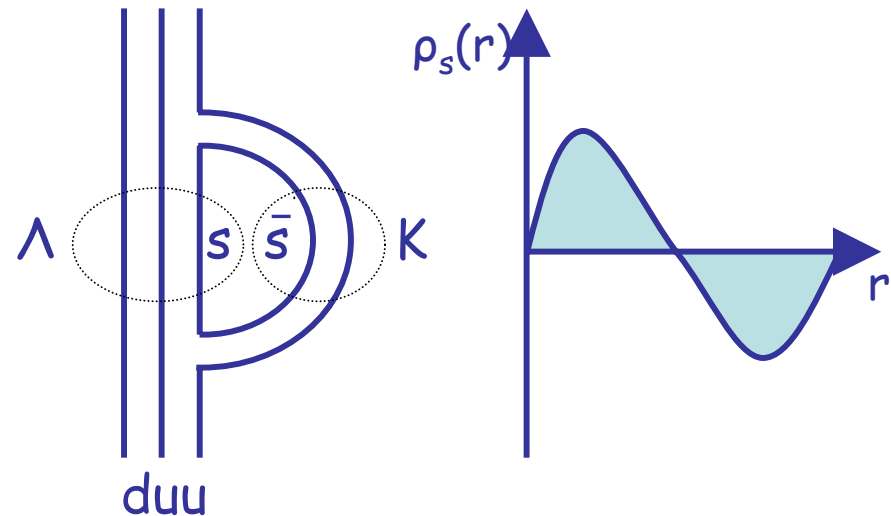
Nuage de pions autour d'un cœur positif

⇒ Séparation spatiale des charges électriques

⇒ Facteur de forme électrique  $\neq 0$

$$Q^2 \leftrightarrow 1/r$$

## Distribution d'étrangeté dans le proton

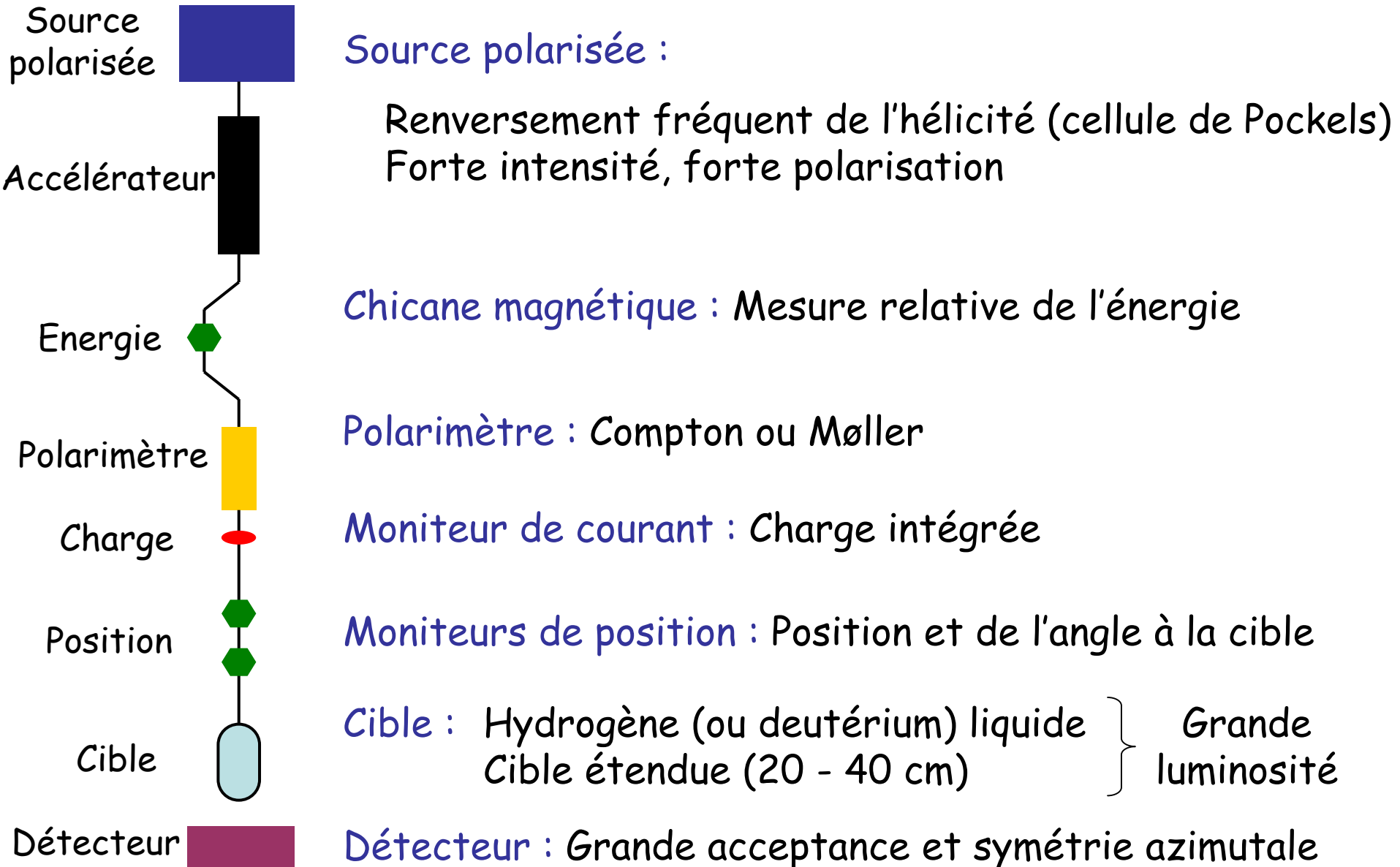


Nuage de K autour d'un baryon étrange

⇒ Séparation spatiale des quarks étranges ?

⇒ Contribution du quark étrange aux facteurs de forme  $\neq 0$  ?

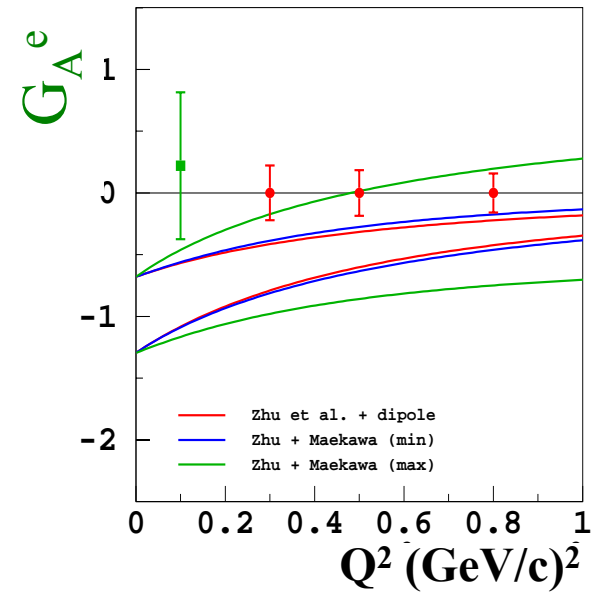
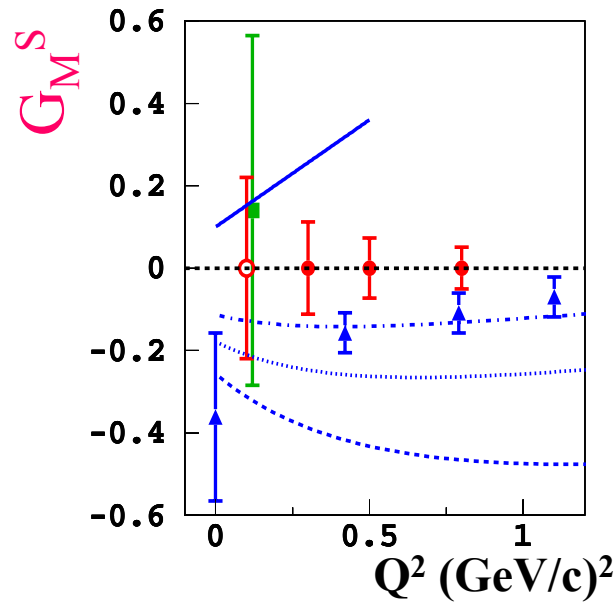
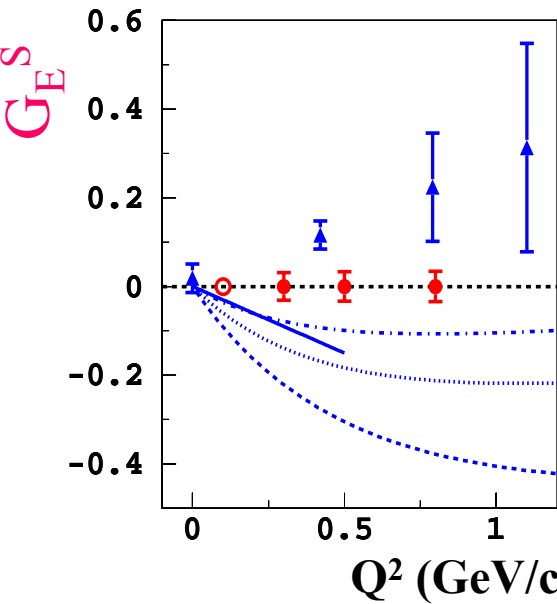
# Dispositif expérimental type



# Expected Results

Current Status :  $G_M^S$ ,  $G_A^e$  at  $Q^2 = 0.1$  (GeV/c)<sup>2</sup> **SAMPLE** (MIT-Bates)

$G_E^S + \alpha G_M^S$  : **HAPPEX** (JLab), **PVA4** (MAMI-Mainz)



●  $G^0$  proposed

○ HAPPEX2 proposed

■ **SAMPLE 2000**

- Chiral Pert. Theory (PRC60 (99) 045501)
- Vector Dominance Model (PRC56 (96) 510)
- Lattice QCD (PRD58 (98) 074504)
- Zhu et al., PRD62 (2000) 033008
- Maekawa et al., PLB 488 (2000) 167