

Etude de la structure en spin du nucléon à Jefferson Lab

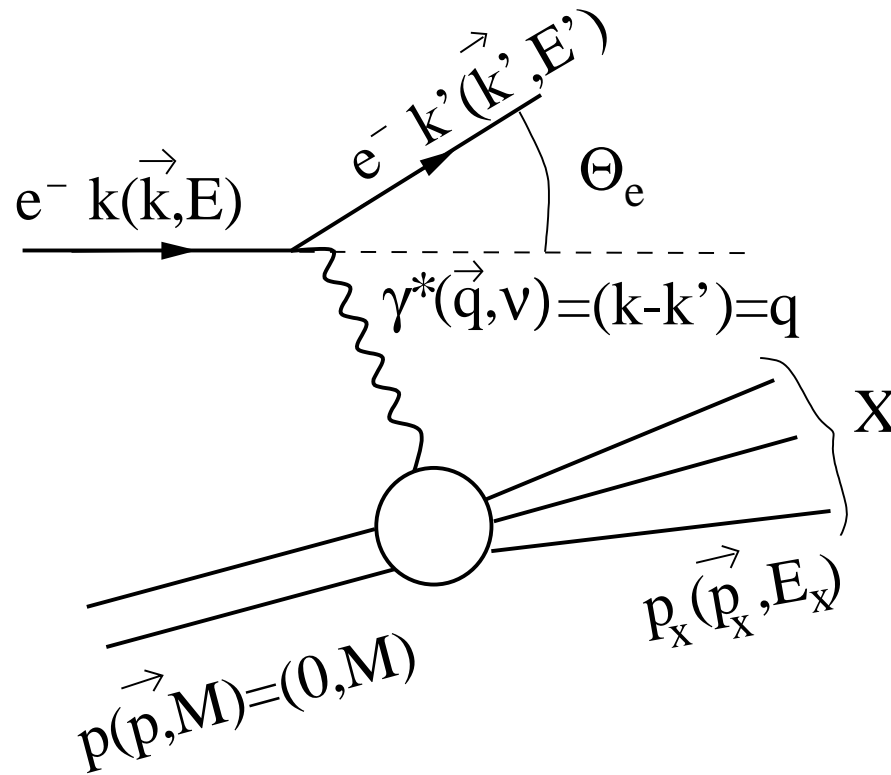
Alexandre Deur
Université de Virginie

Plan de l'exposé:

- Vue imagée de la structure du nucléon
- La règle de somme de Gerasimov–Drell–Hearn
- La règle de somme de GDH généralisée
- Résultats des Hall A & B
- Perspectives d'études sur GDH
- Autres études sur la structure en spin du nucléon / expérience A_1^n
- Résumé/conclusion

Cinématique

Diffusion inclusive d'électrons:



ν : Energie du photon virtuel

$Q^2 = -q^2$: quadrimoment de transfert

$W^2 = M^2 + 2p \cdot q - Q^2$: (masse invariante)²

$x = Q^2 / (2p \cdot q)$: variable d'échelle (Moment relatif du quark dans le modèle des partons)

$\sigma = \sigma_{\text{Mott}} (\alpha F_1 + \beta F_2 + \gamma g_1 + \overline{\omega} g_2)$: section efficace polarisée

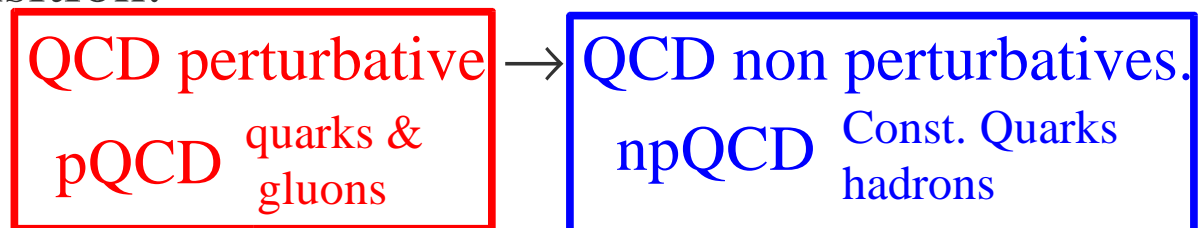
Fin 70: Cibles et faisceaux polarisés.

- ■ Nouveaux tests de QCD perturbative.
- Structure en spin du nucléon.

SLAC, CERN, DESY

Un problème non résolu:

Transition:



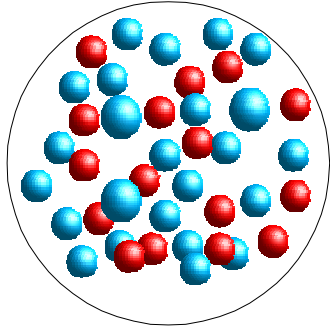
Jefferson Lab:

Fourchette en Q^2 : petit à intermédiaire.

→ Etudes précises de pQCD → npQCD

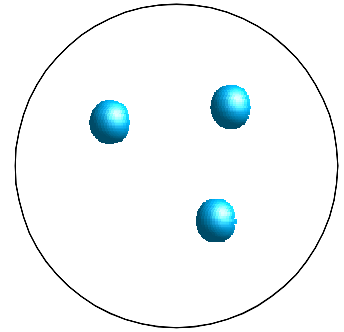
Vue naïve de la structure du nucléon

∞
 Q^2



Quarks quasi-libres
Liberté asymptotique

3 quarks de valence
+ mer de Dirac + gluons..

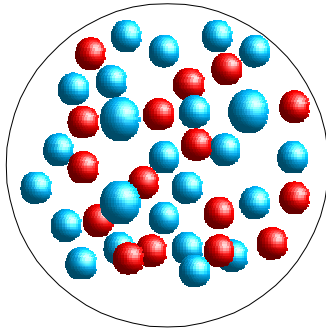


3 quarks de valence

1
x

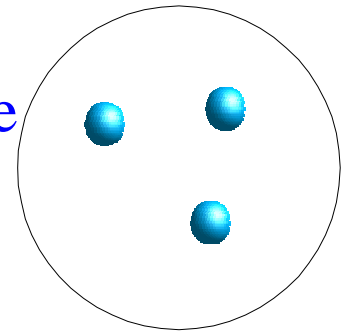
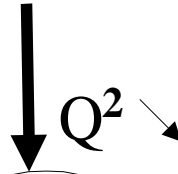
Vue naïve de la structure du nucléon

∞
 Q^2

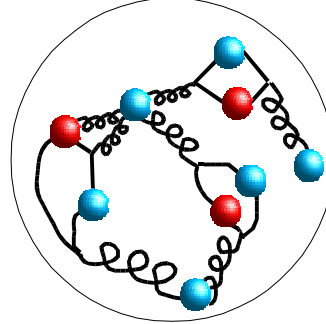


3 quarks de valence
+ mer + gluons

Quarks quasi-libres
Liberté asymptotique



3 quarks de valence

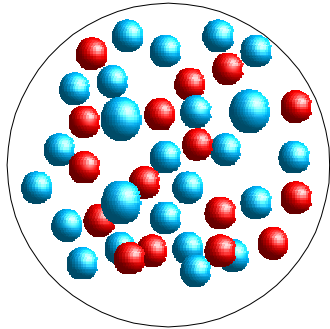


Twists d'ordres supérieurs
correlations q-g, q-q

1
x

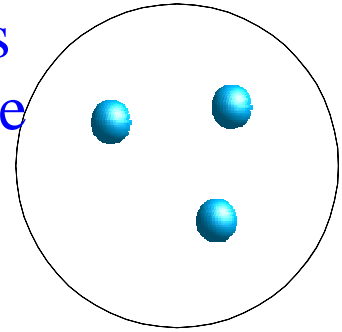
Vue naïve de la structure du nucléon

∞
 Q^2

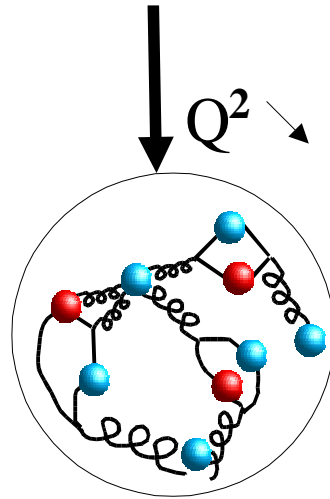


3 quarks de valence
+ mer + gluons

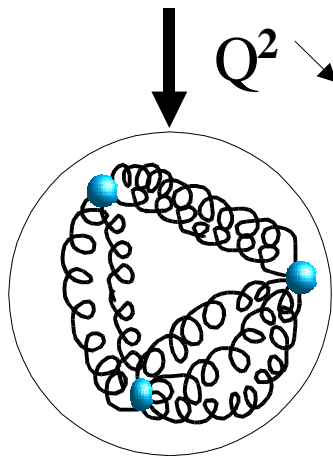
Quarks quasi-libres
Liberté asymptotique



3 quarks de valence



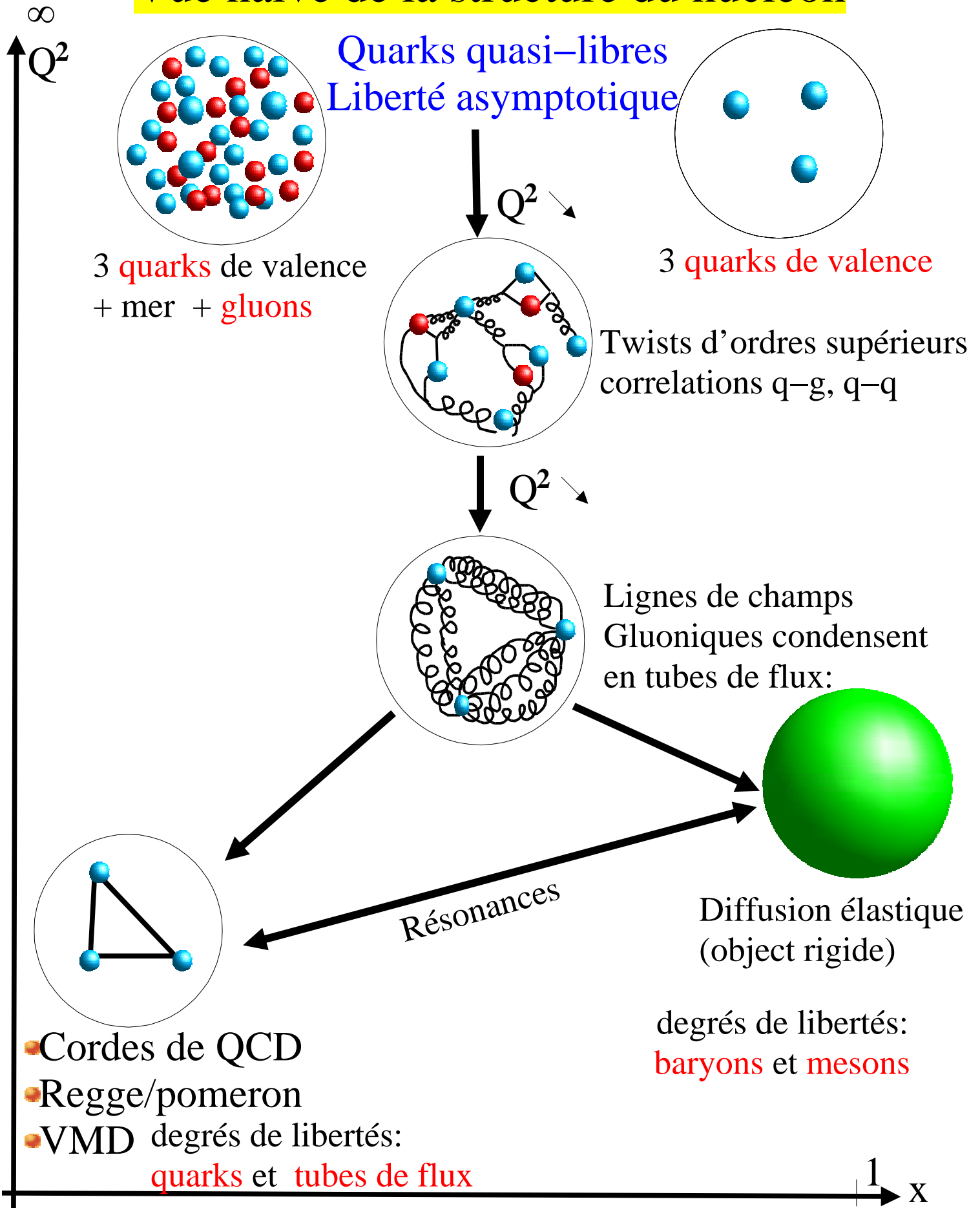
Twists d'ordres supérieurs
correlations q-g, q-q



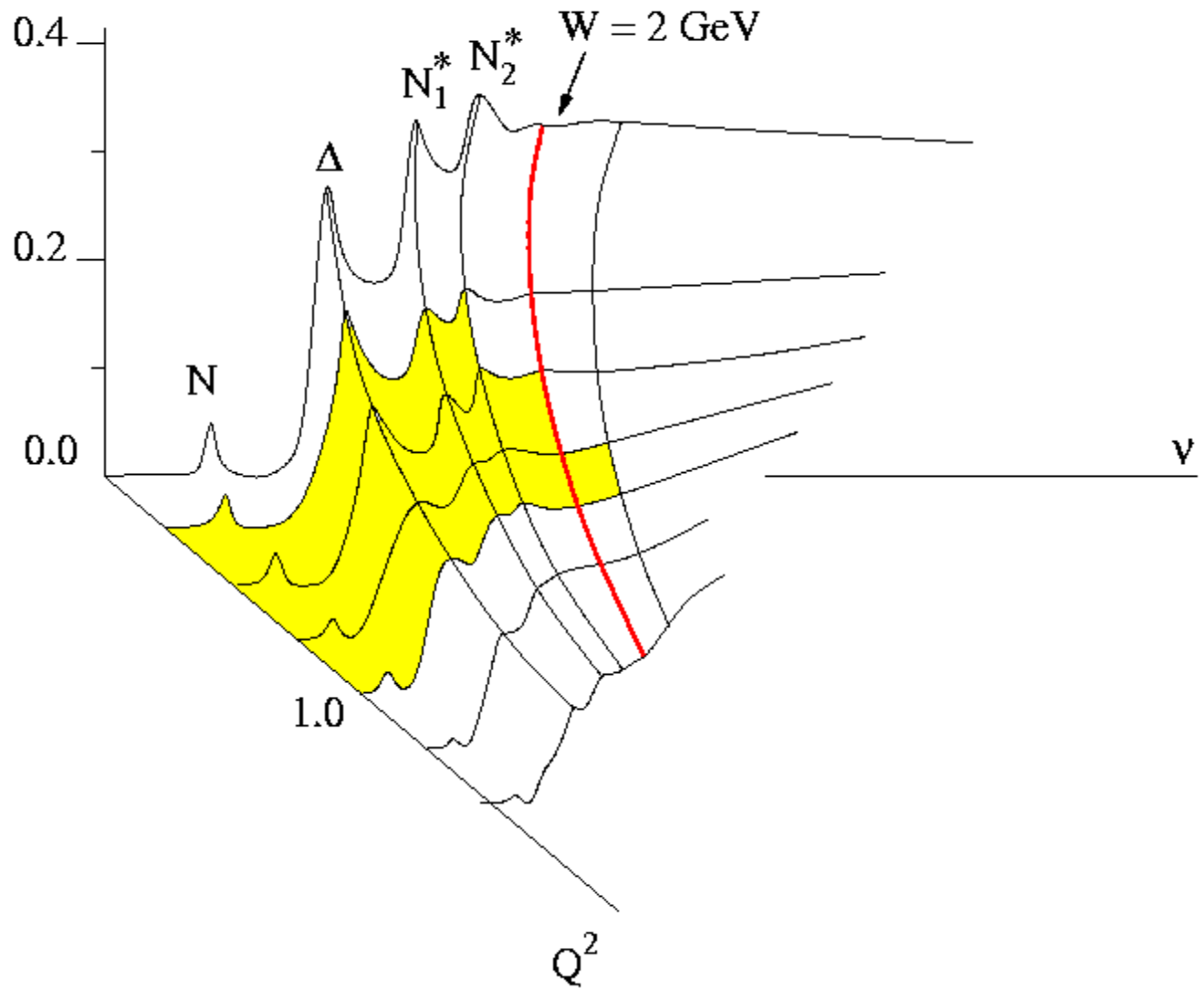
Lignes de champs
Gluoniques condensent
en tubes de flux:

1
x

Vue naïve de la structure du nucléon



Réponse du nucléon à la sonde électromagnétique



Expérience E94-010: mesure de l'évolution en Q^2 de la règle de somme généralisée de GDH

Etude de la transition **parton** \rightarrow **hadron**

Règle de somme de GDH: $Q^2=0$

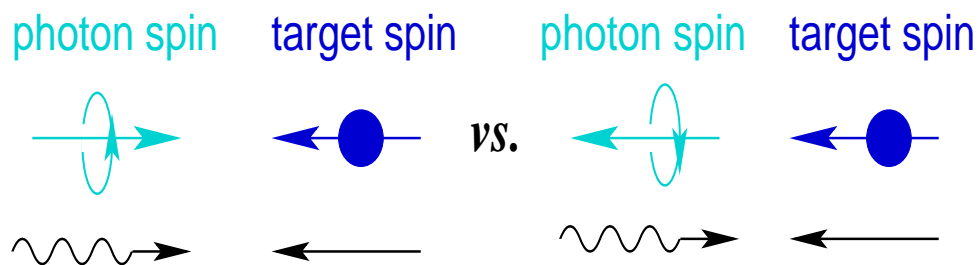
- Prendre une relation de dispersion de Kramer–Kroenig (**causalité**)
- Appliquer l'unitarité (**théorème optique**)
- Appliquer l'invariance de jauge (**théorème de basse énergie**)

On obtient GDH:

$$\int_{\nu_0}^{\infty} (\sigma_{1/2} - \sigma_{3/2}) \frac{d\nu}{\nu} = -2\pi\alpha \frac{\kappa^2}{M^2}$$

κ : moment magnétique anomal

$\sigma_{1/2}$ & $\sigma_{3/2}$: sections efficaces de photoproduction



⇒ **Repose sur de solides hypothèses (les mêmes que la règle de somme de Bjorken)**

Seule hypothèse raisonnablement questionable:

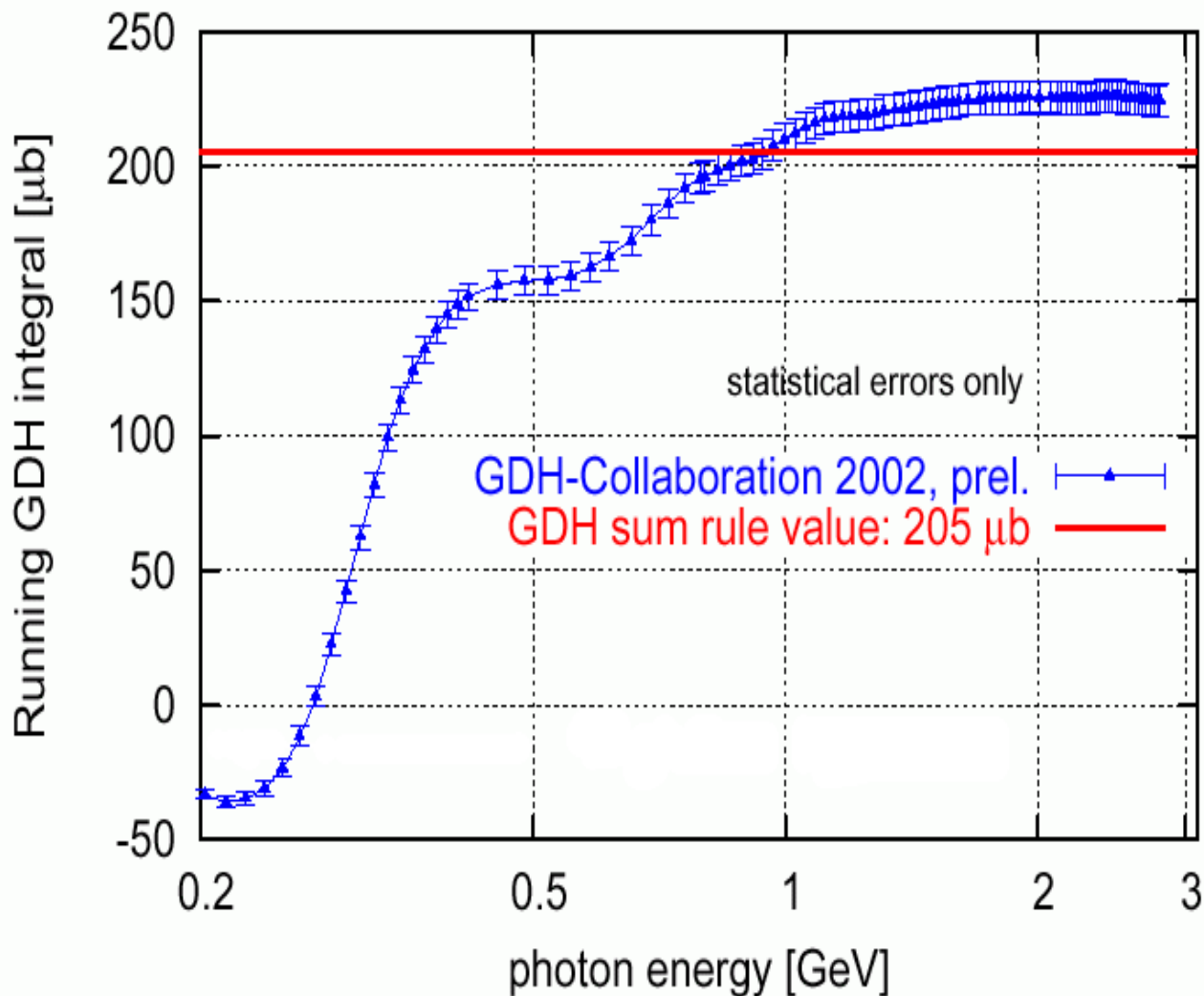
Validité de "**l'hypothèse de non-soustraction**"
(Intégration de Cauchy)

GDH: Quantité fondamentale, jamais vérifiée

- Convergence
- Hypothèse de non-soustraction
- Estimations basées sur la photoproduction de pions violent GDH.

Vérification sur le proton à:

MAMI: $0.2 < \nu < 0.8$ GeV Ahrens *et al*
prl 87, 22003 (2001)
ELSA : $0.7 < \nu < 3$ GeV



→ Test de la convergence (**SLAC**, JLAB)
Neutron: Pas de données disponibles.

Règle de somme de GDH généralisée

"Généralisée": photoproduction \rightarrow électroproduction

$$Q^2=0$$

$$Q^2>0$$

Amplitudes de diffusion
Compton vers l'avant

Ji & Osborne:

$$\int_{\nu_0}^{\infty} G_{1(2)} \frac{d\nu'}{\nu'} \propto S_{1(2)}$$

Fonctions de structure
en spin du nucléon

- Généralise la **règle** de somme
- Connecte GDH à la règle de somme de Bjorken

$S_{1(2)}$: Calculable sur tout le spectre d'excitation du nucléon
(χ pT, QCD sur réseau, développement en termes de twist supérieurs).

Expériences: Hall A JLAB: neutron (^3He)
Hall B JLAB: proton, deuteron
HERMES: neutron (^3He), proton

Experience E94-010

Z.-E. Meziani, G. Cates,
J.-P. Chen

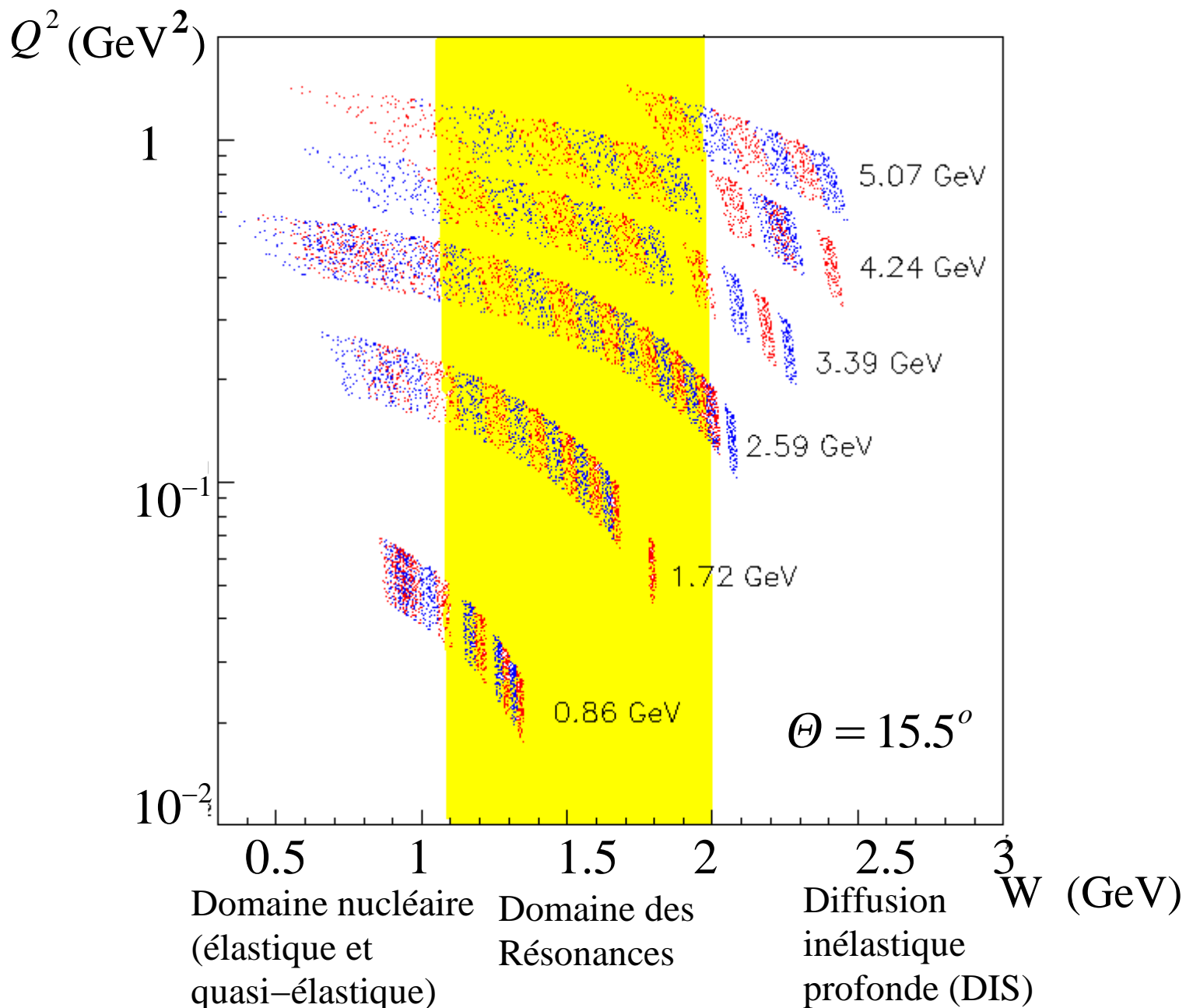
Diffusion inclusive ${}^3\text{He}(\vec{e} \rightarrow e')X$

mesure: $\sigma^{\uparrow\uparrow}, \sigma^{\uparrow\downarrow}, \sigma^{\Rightarrow\uparrow}, \sigma^{\Rightarrow\downarrow}$

$\uparrow\uparrow$: Spin de la cible

\uparrow : spin de l'électron

Combinaisons linéaires: Intégrant de GDH généralisée

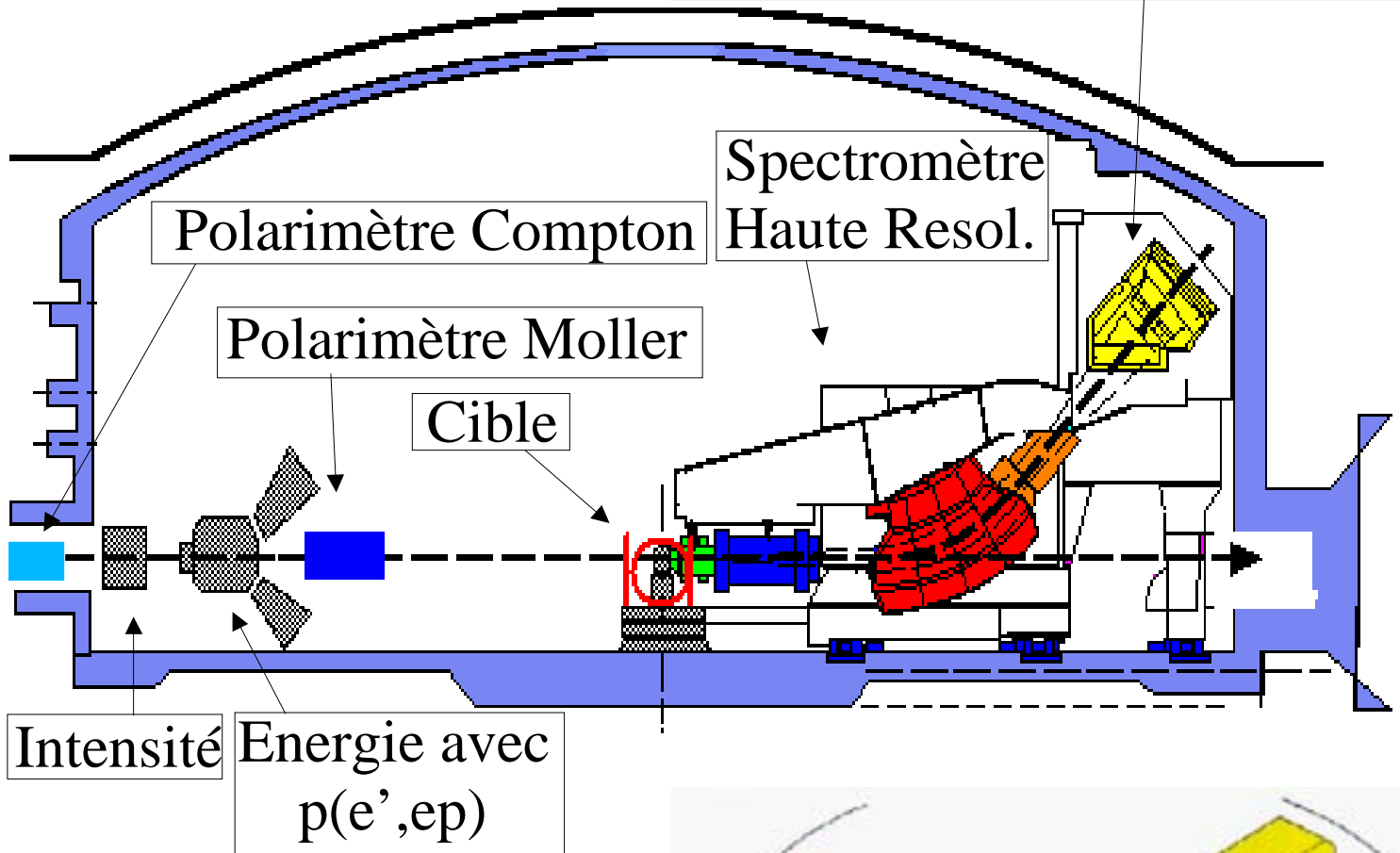


Equipement standard du Hall A + cible d' ${}^3\text{He}$ polarisée

Jefferson Lab Hall A.

Mesure énergie avec position faisceau + $\int B dl$

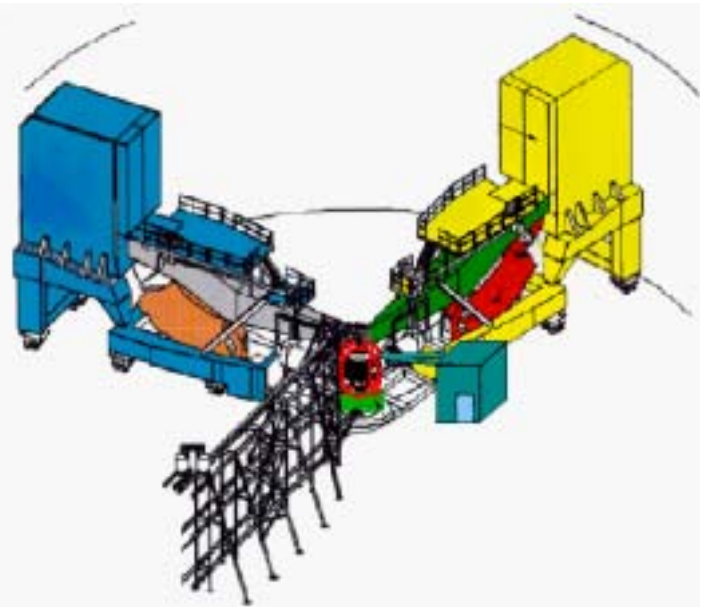
Détecteurs: chambres à fils, scintillateurs, preshower, shower, Cherenkov



Caractéristiques faisceau:

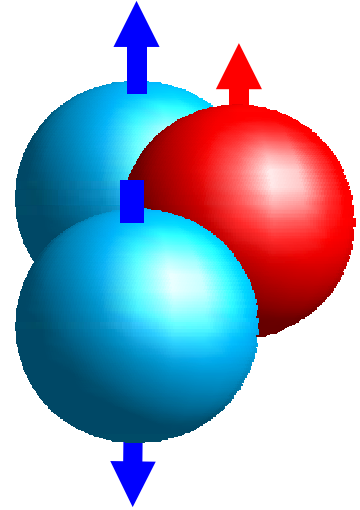
- 1–15 μA
- 0.8–5 GeV
- 70–80% pol.

Spectro: • $\Delta\Omega = 6$ msr
• $\Delta P/P = 10^{-4}$



La cible d' ^3He polarisée

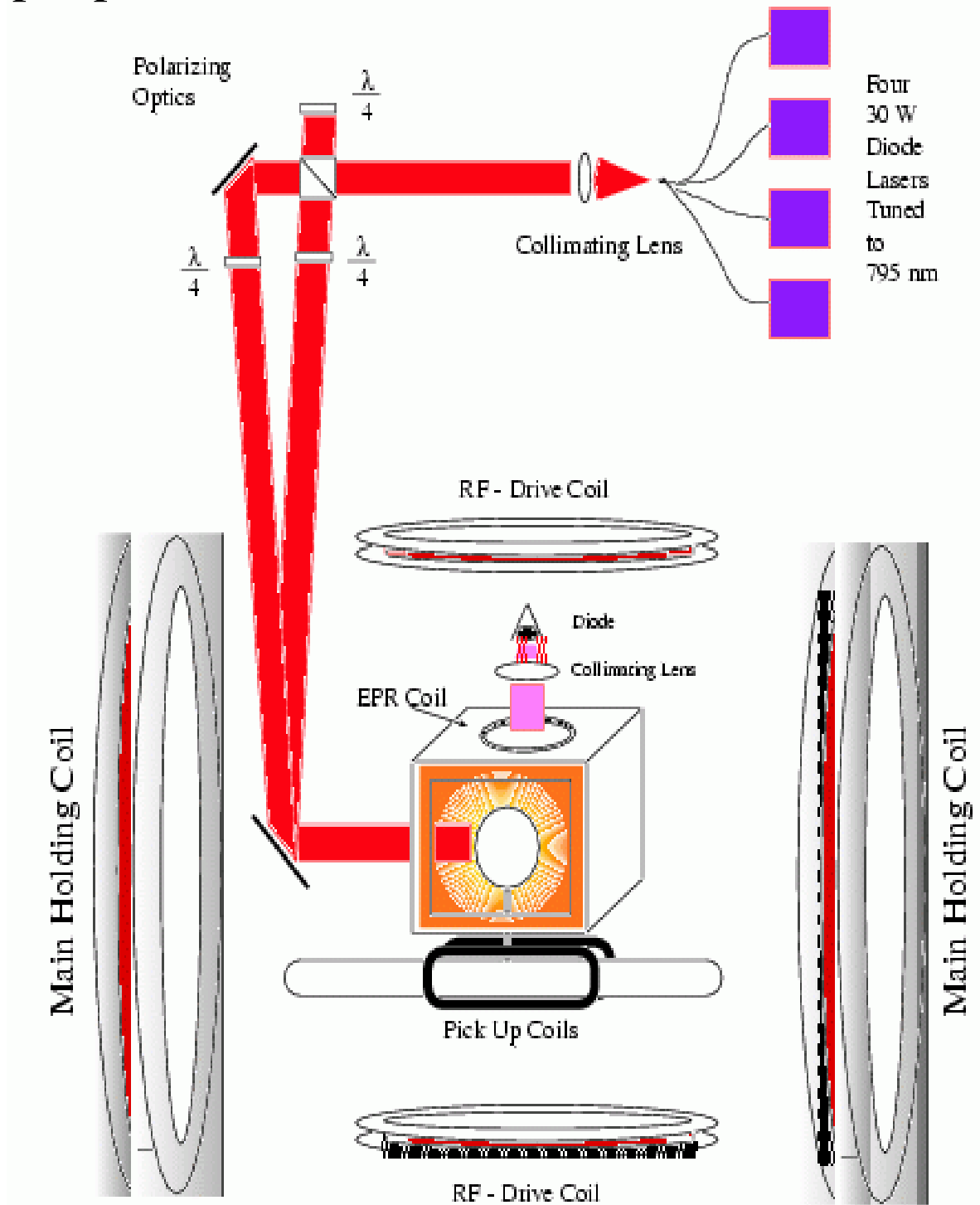
^3He au 1^{er} ordre: \vec{n} dilué par 2 p.



- Cible gazeuse
 - Polarisation=35–40% (en conditions de run)
 - 12 atmosphères
 - Longueur: 25 à 40 cm
- Luminosité $10^{36} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (pour $15 \mu\text{A}$, 40 cm).

Principe de fonctionnement

Principe de base: Pompage optique de Rb, puis échange de spin par collisions Rb-³He.



Collaboration: CalTech, Clermont-Ferrand, JLAB, Kentucky, MIT Princeton, Temple, U.Va, William & Mary.

De l' ^3He au Neutron

degli Atti et al
Phy Rev C48 968 (1993)
Phys Let B404 223 (1997)

^3He : Pas dans une pure onde S. \rightarrow le spin des protons contribue au spin du noyau.

Calculs Fadeev pour 3 corps:

$$g^{^3\text{He}} = 2P_p g^p + P_n g^n \quad \text{Avec: } P_p = -0.028$$
$$P_n = 0.86$$

Effets nucléaires supplémentaires (mouvement de Fermi et énergie de liaison) sont pris en compte par un modèle de convolution.

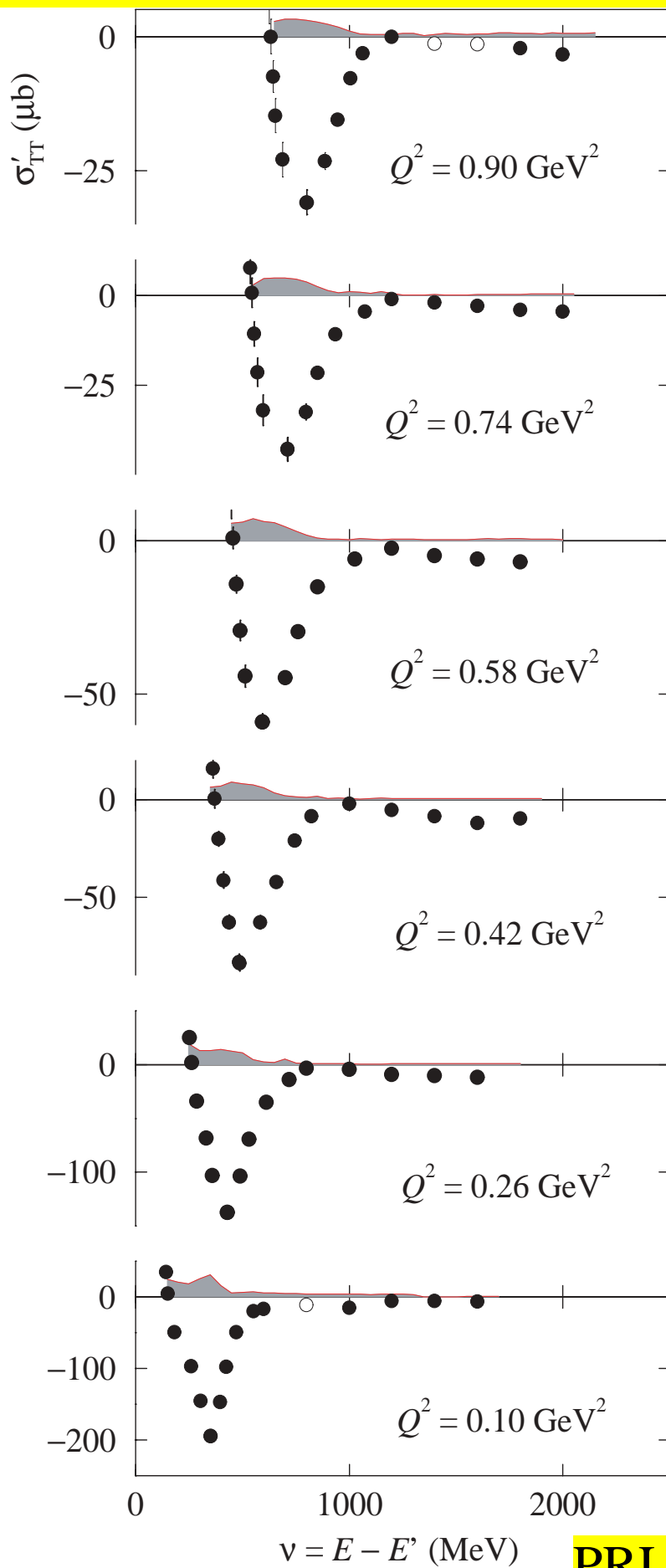
Cette méthode s'est montrée fiable pour:

- La diffusion inélastique profonde (DIS).
- Les régimes des résonances et DIS (quantités intégrées).

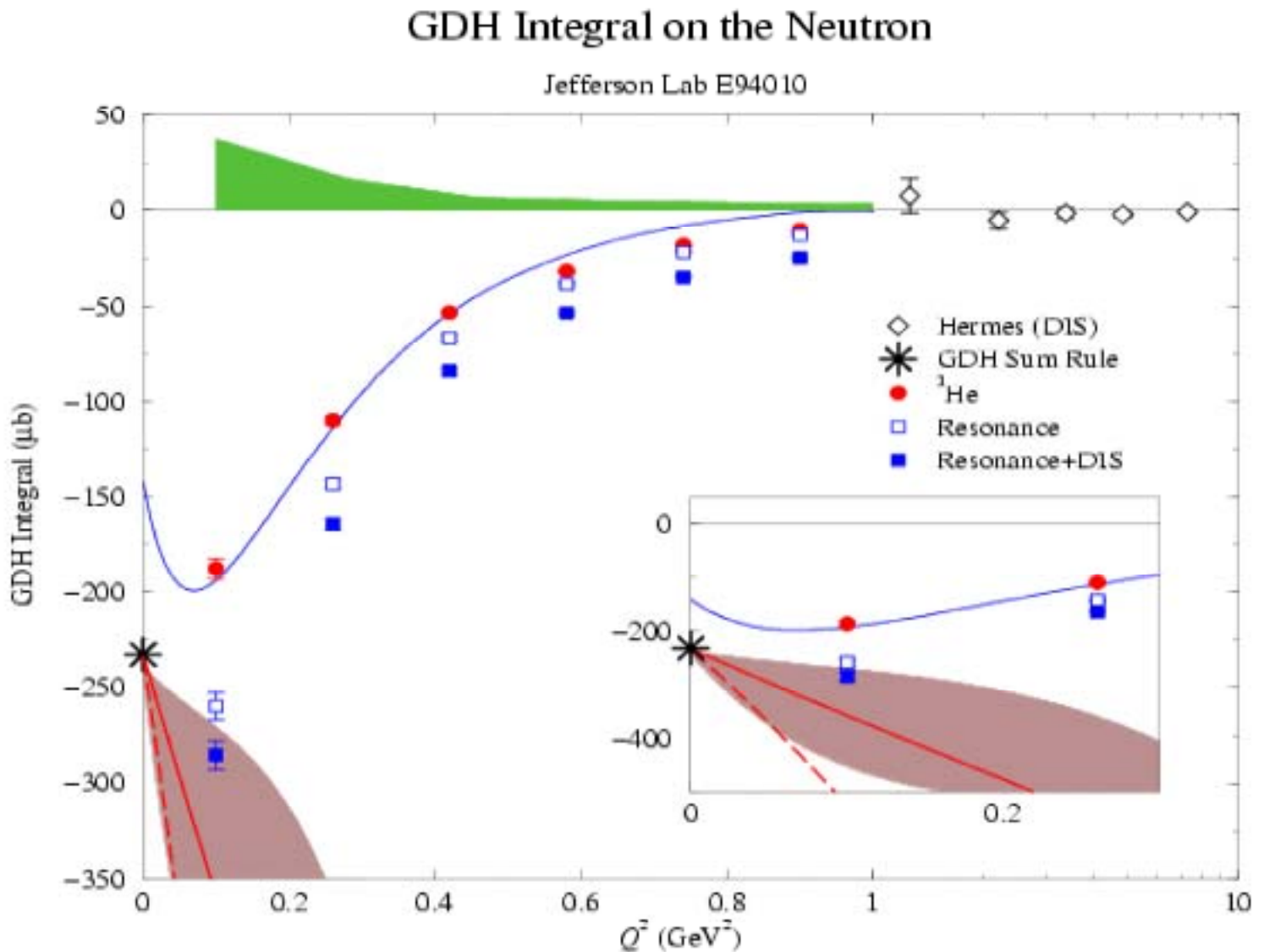
Nos expériences: Quantités intégrées ou DIS

\rightarrow L'extraction du neutron fiable.

L'intégrant de GDH* : $(\sigma_{1/2} - \sigma_{3/2})/2$



Evolution de l'intégrale de GDH*(Q^2) (neutron)

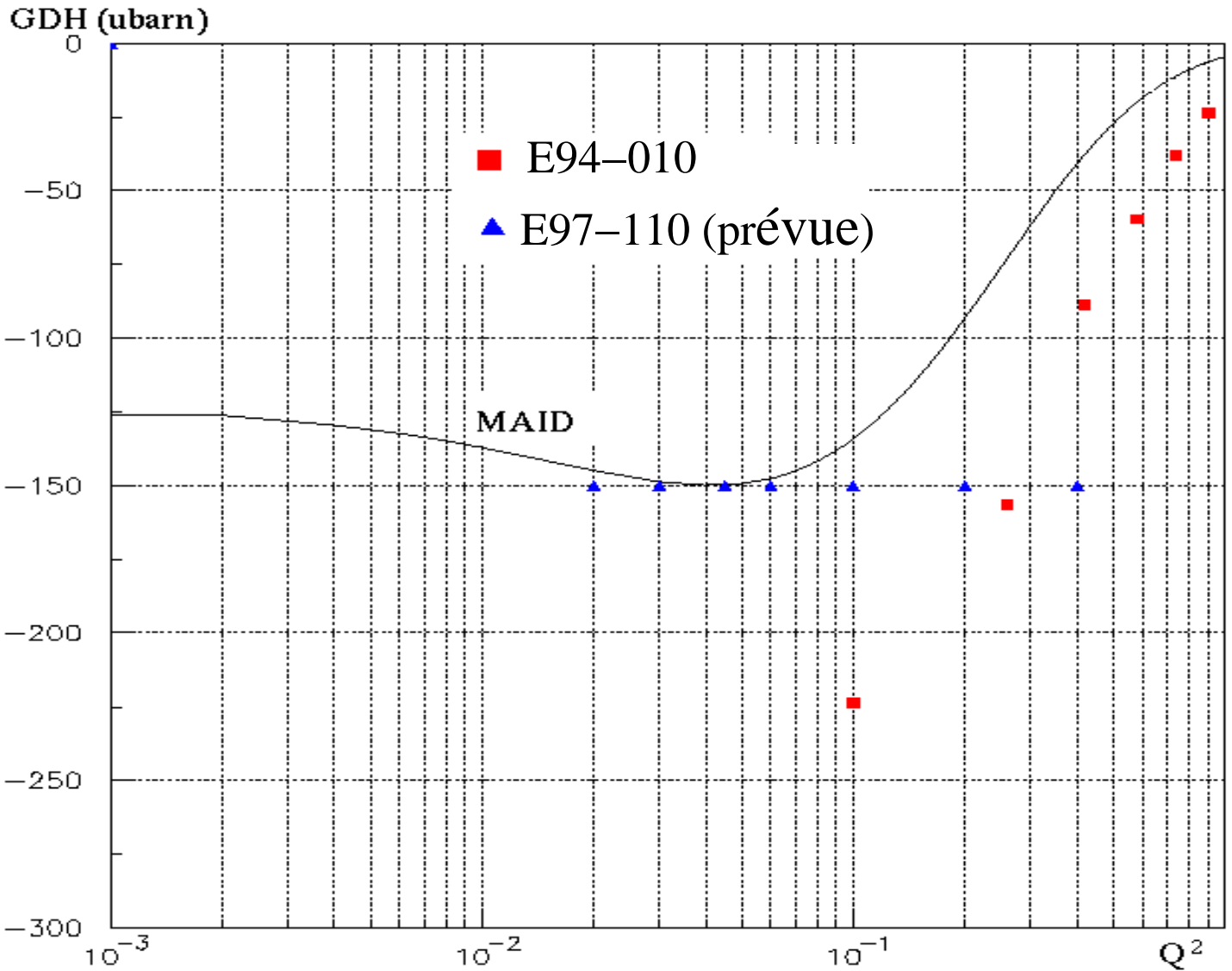


PRL 89, 242301 (2002)

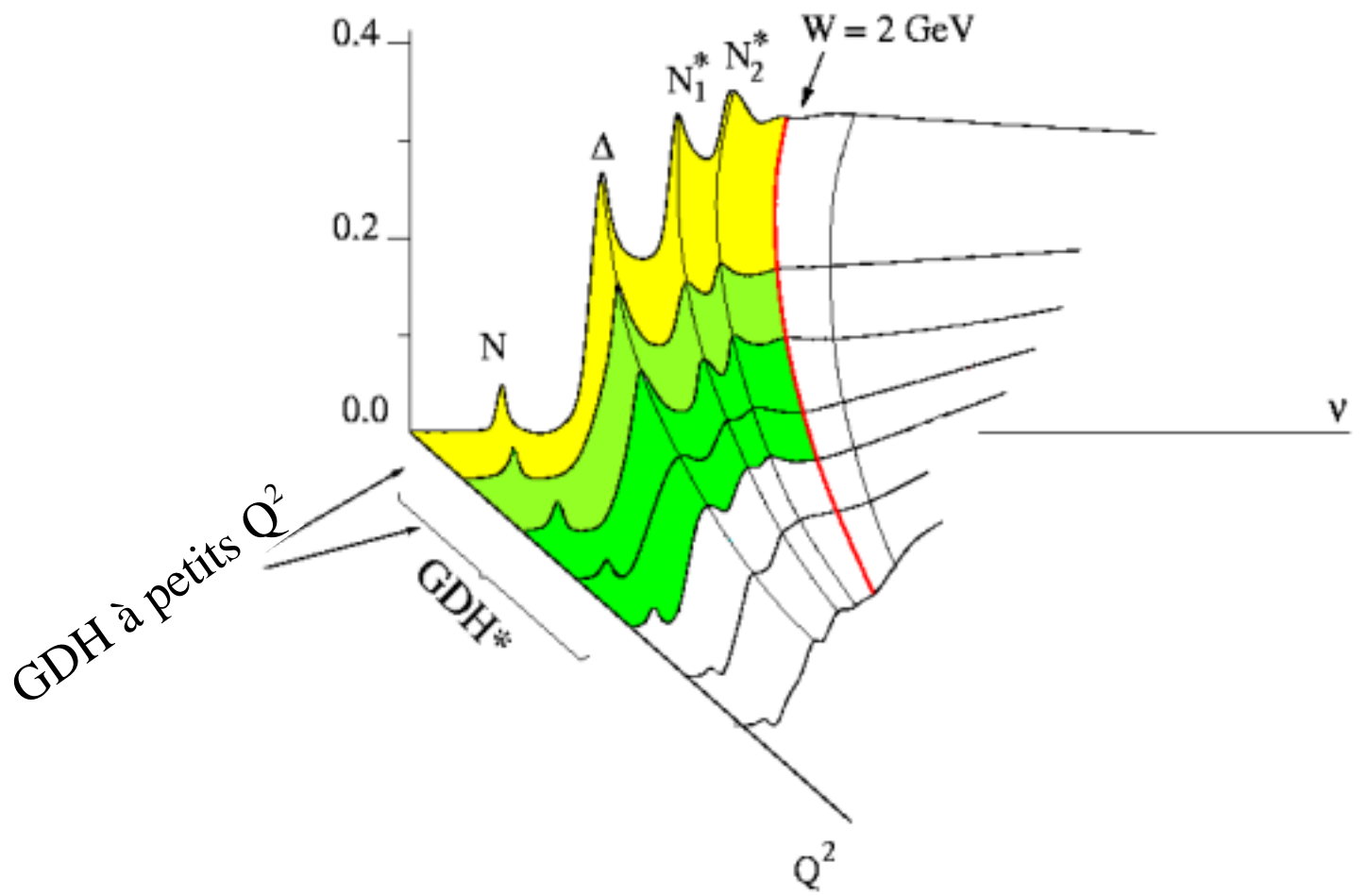
Corrections nucléaires: degli Atti et al, *Phy Rev C* **48** 968 (1993)
Phys Let B **404** 223 (1997)

Contribution DIS: N. Bianchi & E. Thomas,
Phys. Lett B **450** 439 (1999)

Hall A: Nouveaux aimants: angles de diffusions: 6° and 9°
décroît la limite en Q^2 à 0.02 GeV^2

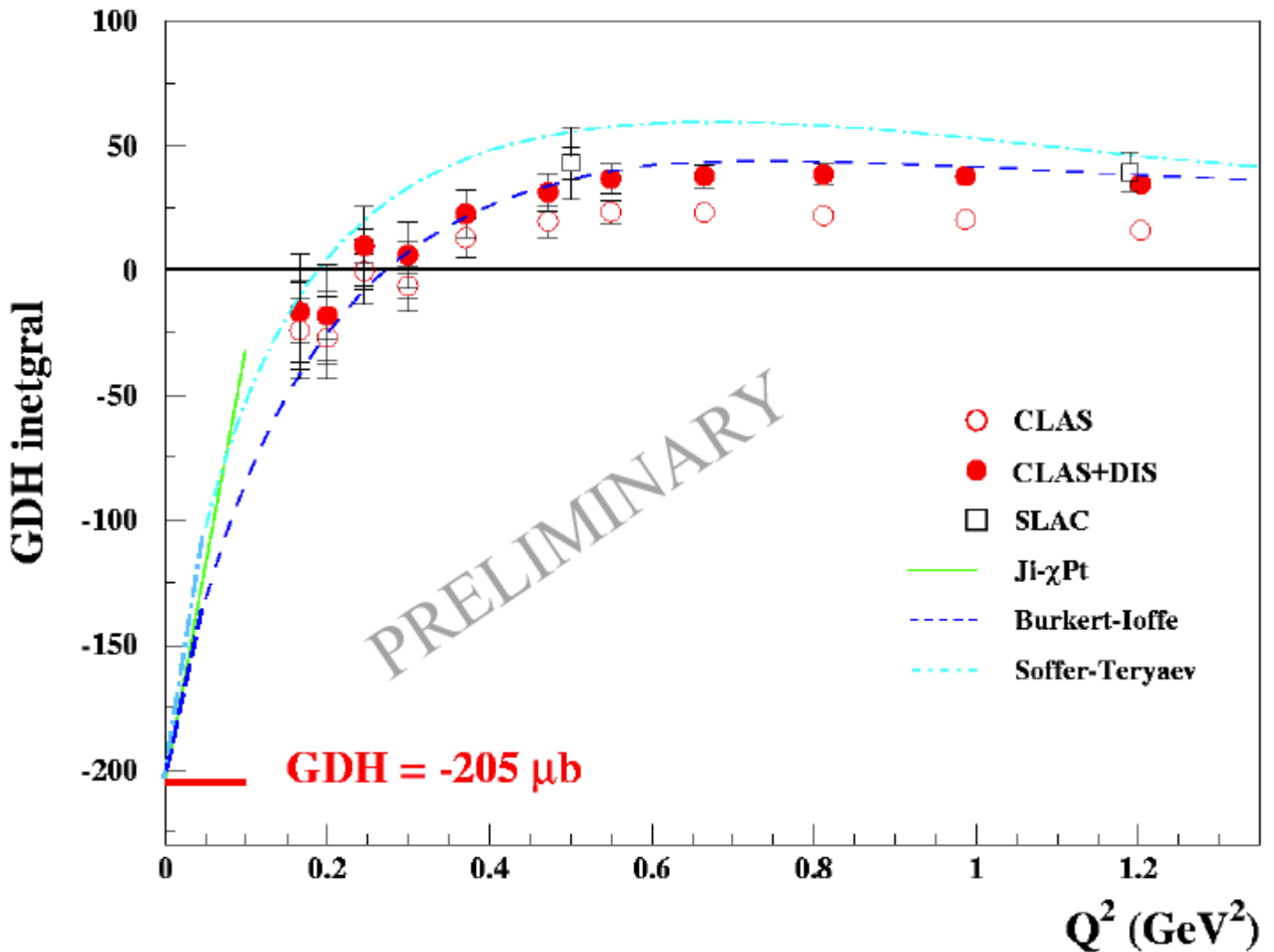


Prévue pour avril 2003



Evolution de l'intégrale de GDH(Q^2) pour le Proton

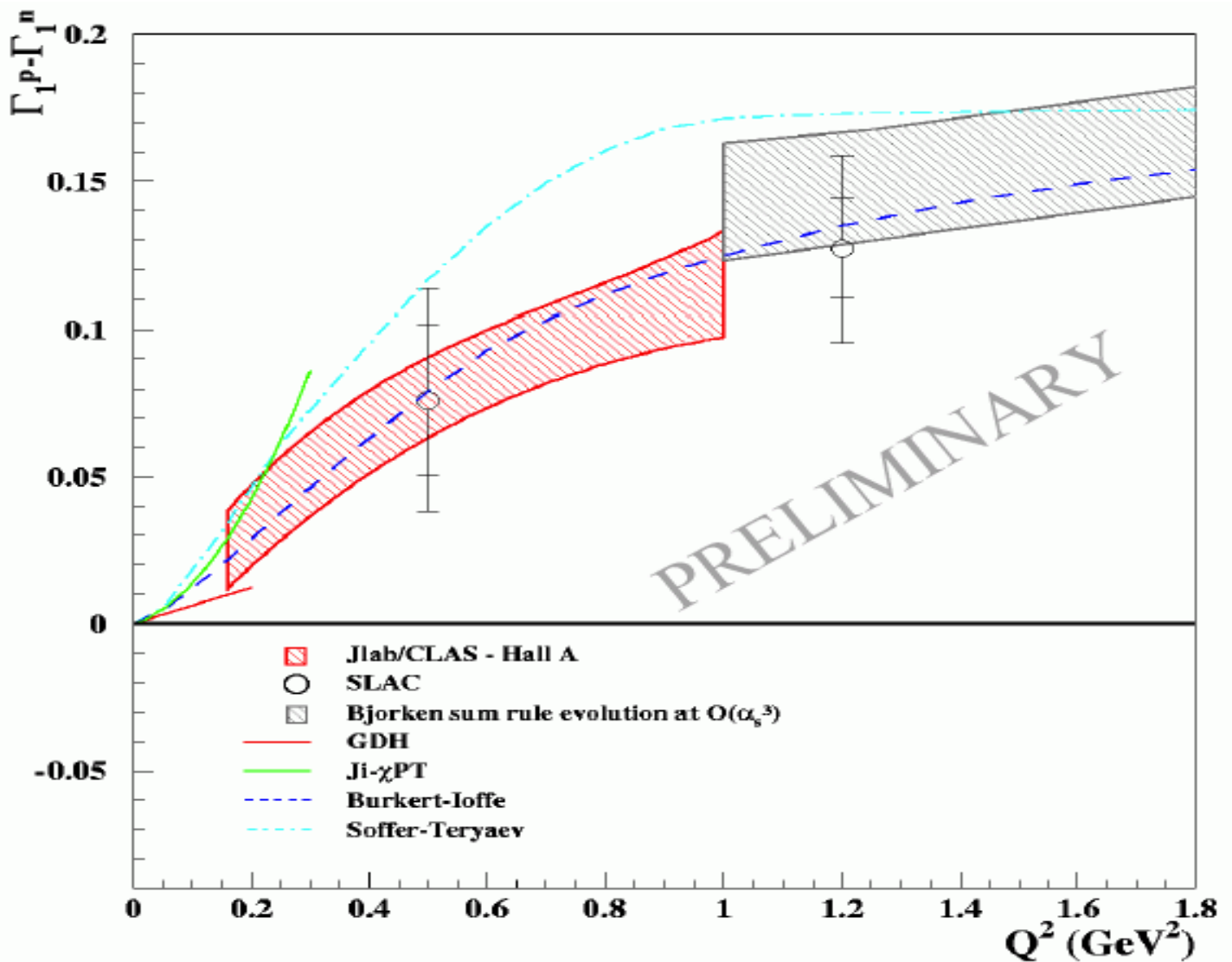
Données préliminaires du Hall B



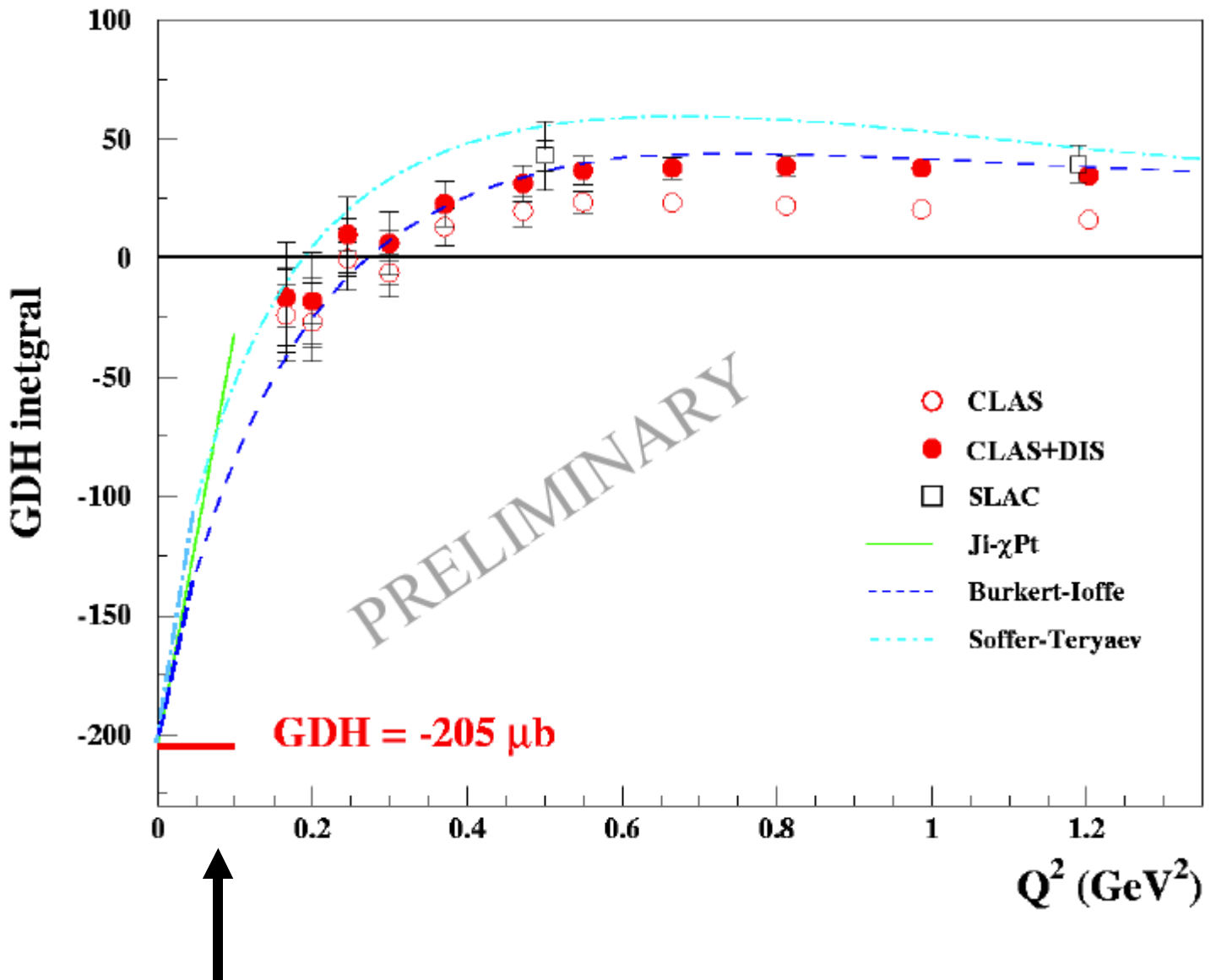
Evolution à bas Q^2 de l'intégrale de Bjorken

Intégrale de Bjorken $\propto \text{GDH}^{\text{proton}} - \text{GDH}^{\text{neutron}}$

Hall A (neutron) & Hall B (proton)

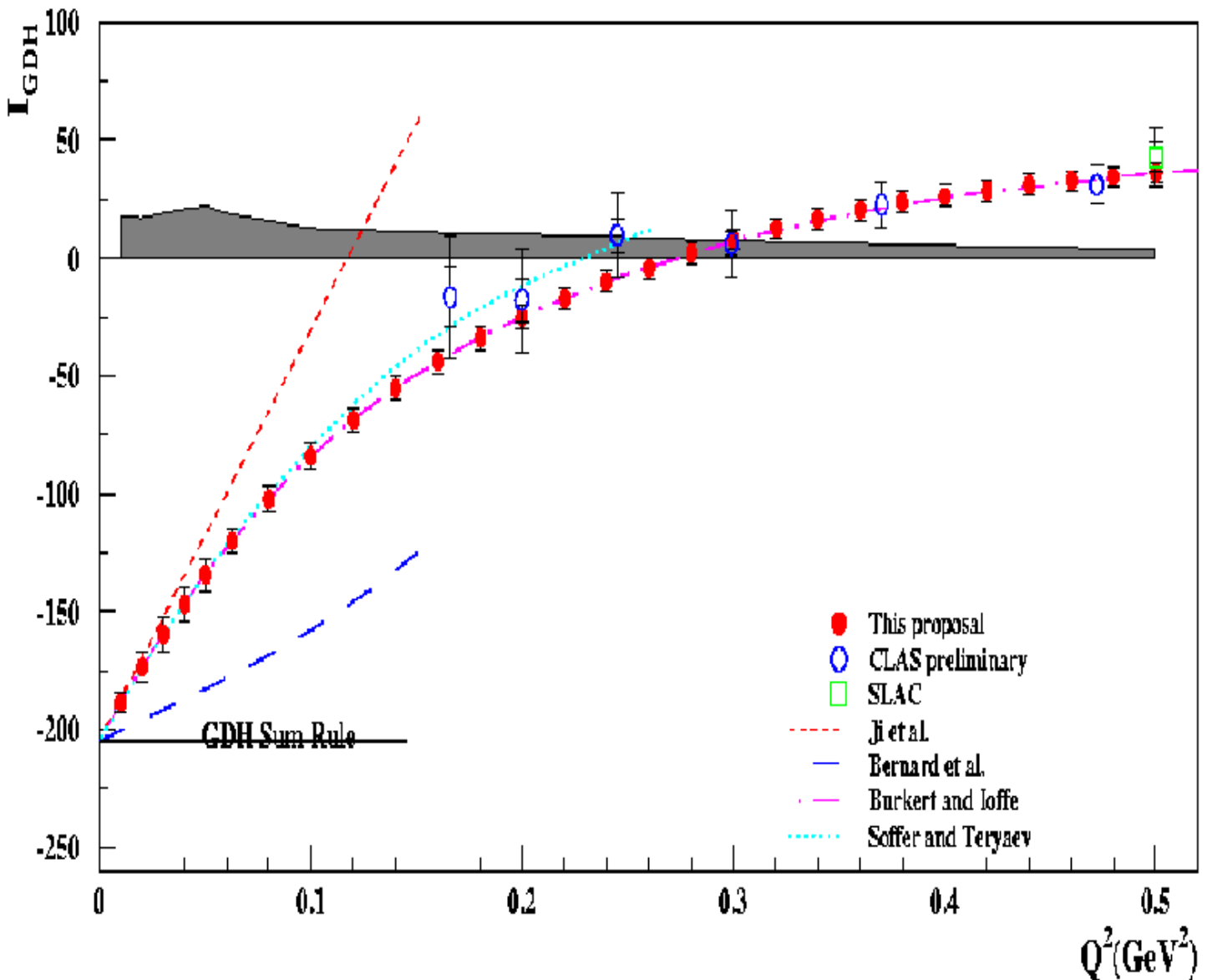


Evolution de l'intégrale de GDH(Q^2) pour le Proton



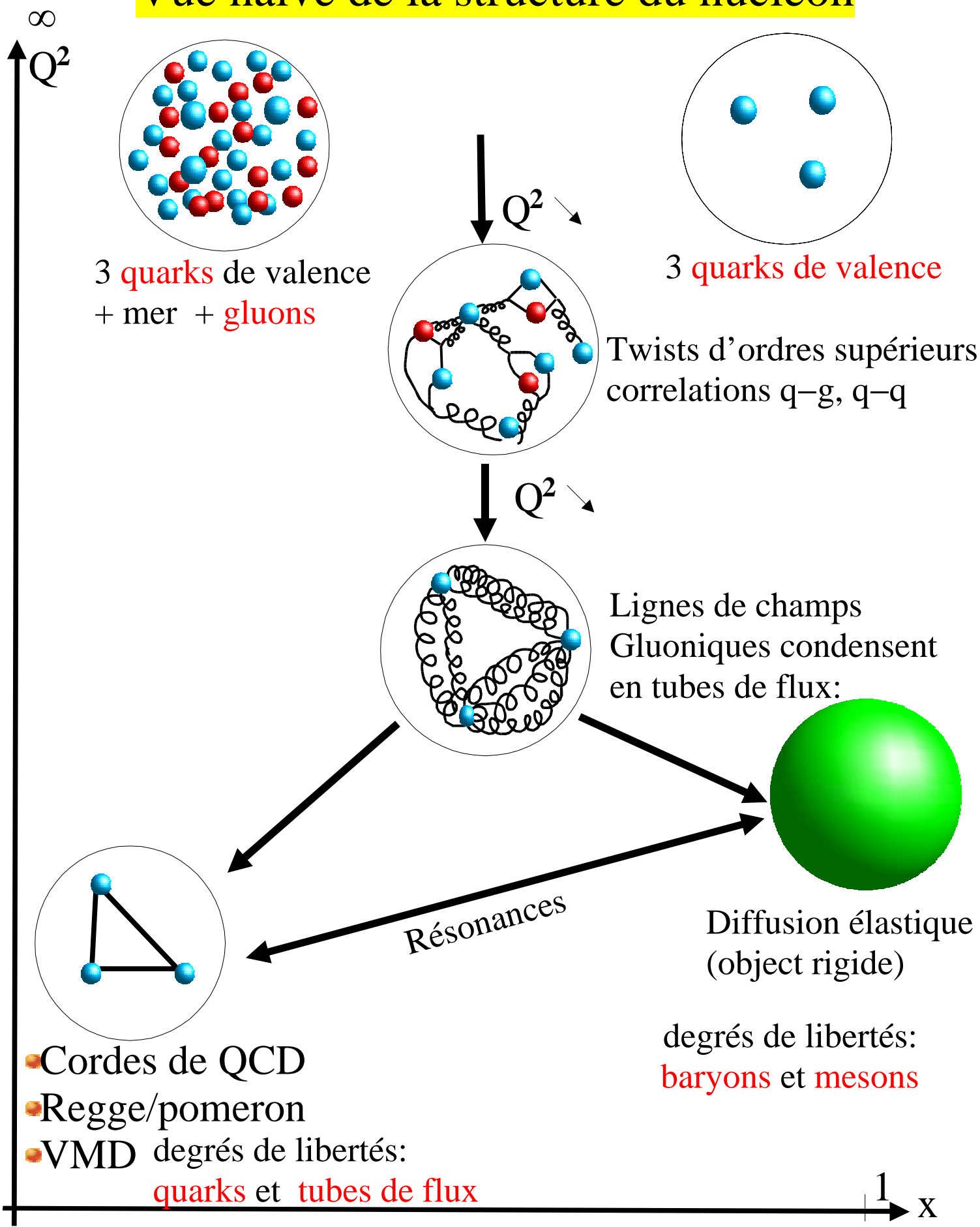
Nouvelle expérience GDH

M. Battaglieri A. Deur,
Mesure de GDH à bas Q^2 sur le **proton**. R. DeVita, M. Ripani
Dans le Hall B. Approuvé par PAC23 (A)



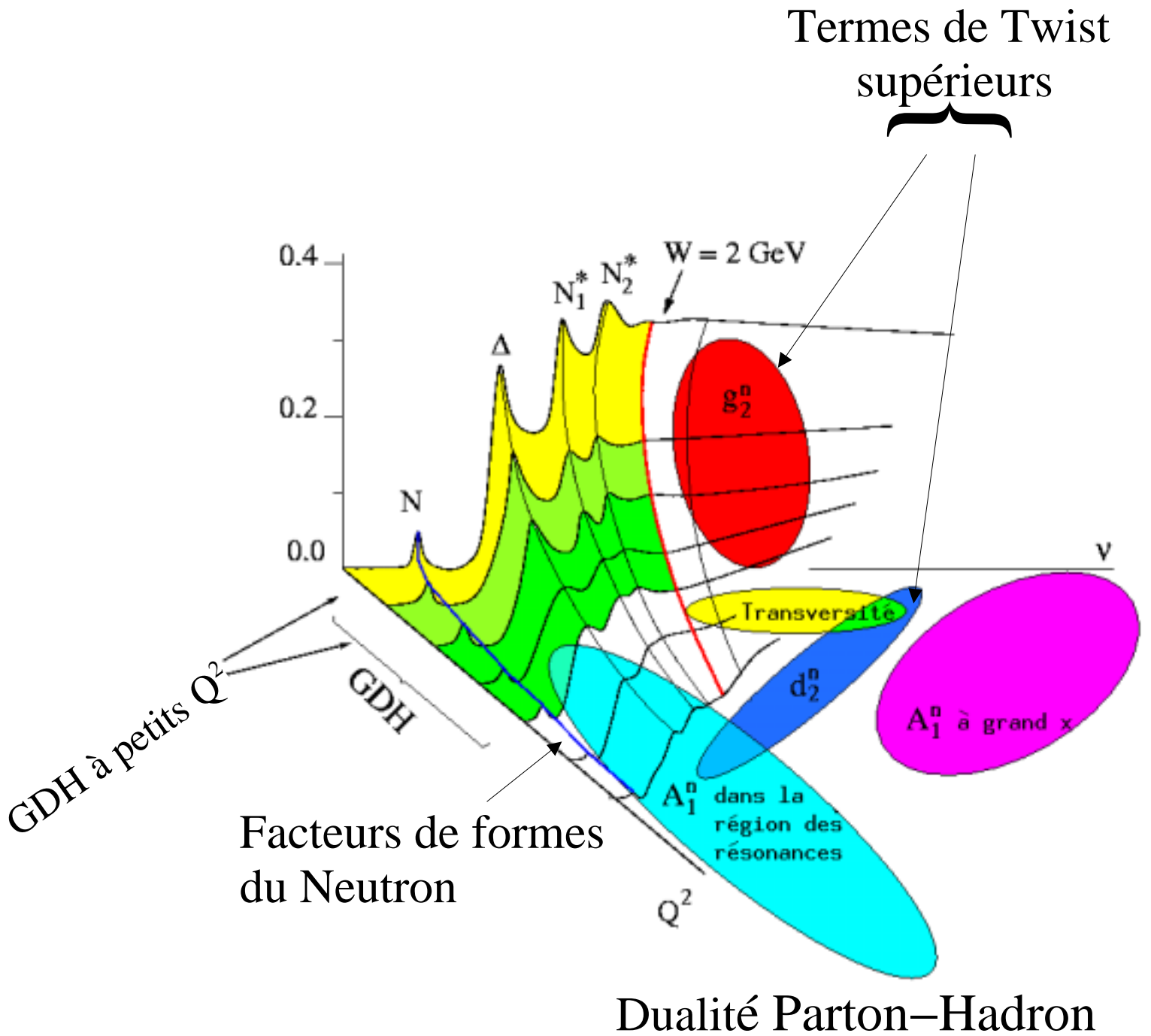
- Complète les données mondiales sur GDH généralisée
- Comparaison avec χ_{pt} : Pas de corrections nucléaires
- GDH sur le proton au point du photon réel
- Proton – neutron

Vue naïve de la structure du nucléon



- Cordes de QCD
- Regge/pomeron
- VMD degrés de liberté:
quarks et tubes de flux

Le programme d' $\vec{3}\text{He}$ du Hall A



→ Programme cohérent d'expériences inclusives
Développement d'un programme semi-inclusif

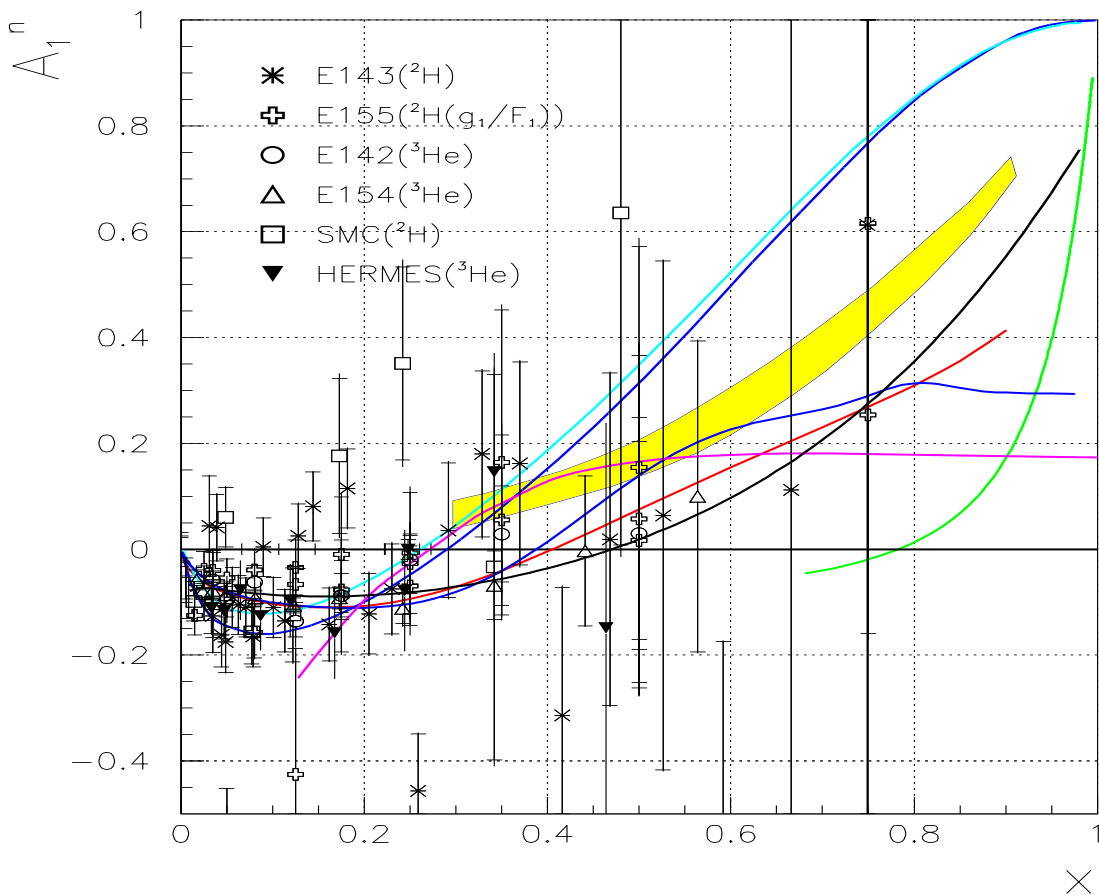
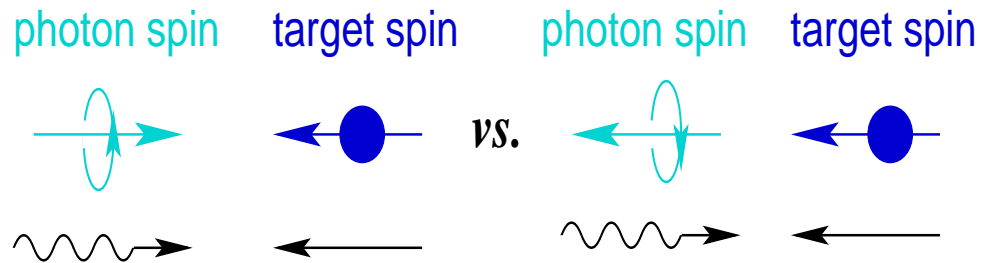
Structure en spin dans la région de valence

DIS à grand x : Région de valence.

*Pas de mer de Dirac. Simplification des calculs
 ⇒ QCD peut faire des prédictions absolue (A_1)

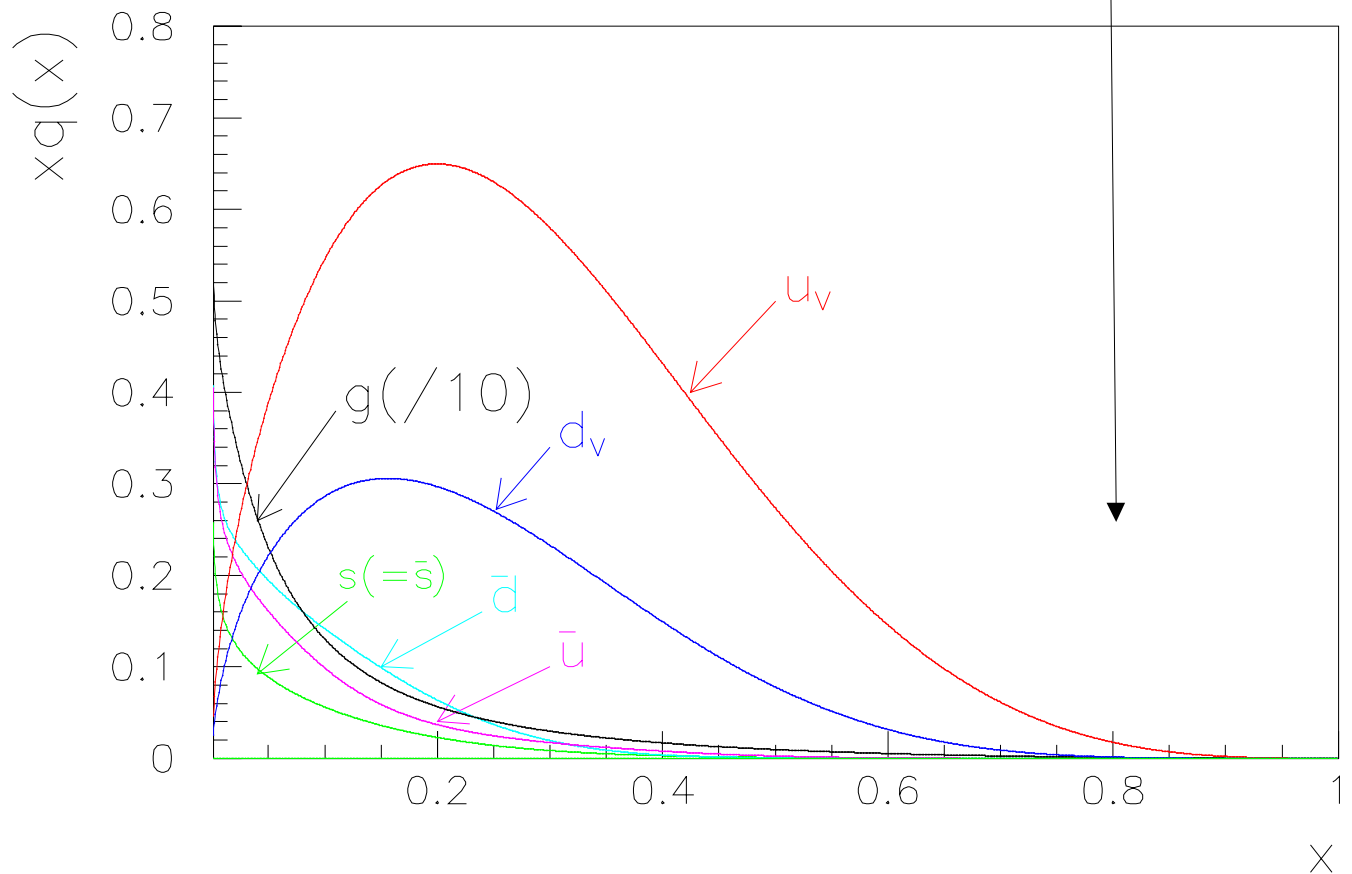
*Zone de validité des modèles de quarks constituants

$$A_1 = \frac{\sigma_{1/2} - \sigma_{3/2}}{\sigma_{1/2} + \sigma_{3/2}}$$



Problèmes:

- ★ Petite probabilité de trouver un parton à grand x
- ★ Petite section efficace de Mott
- ★ Pas de cible de neutron



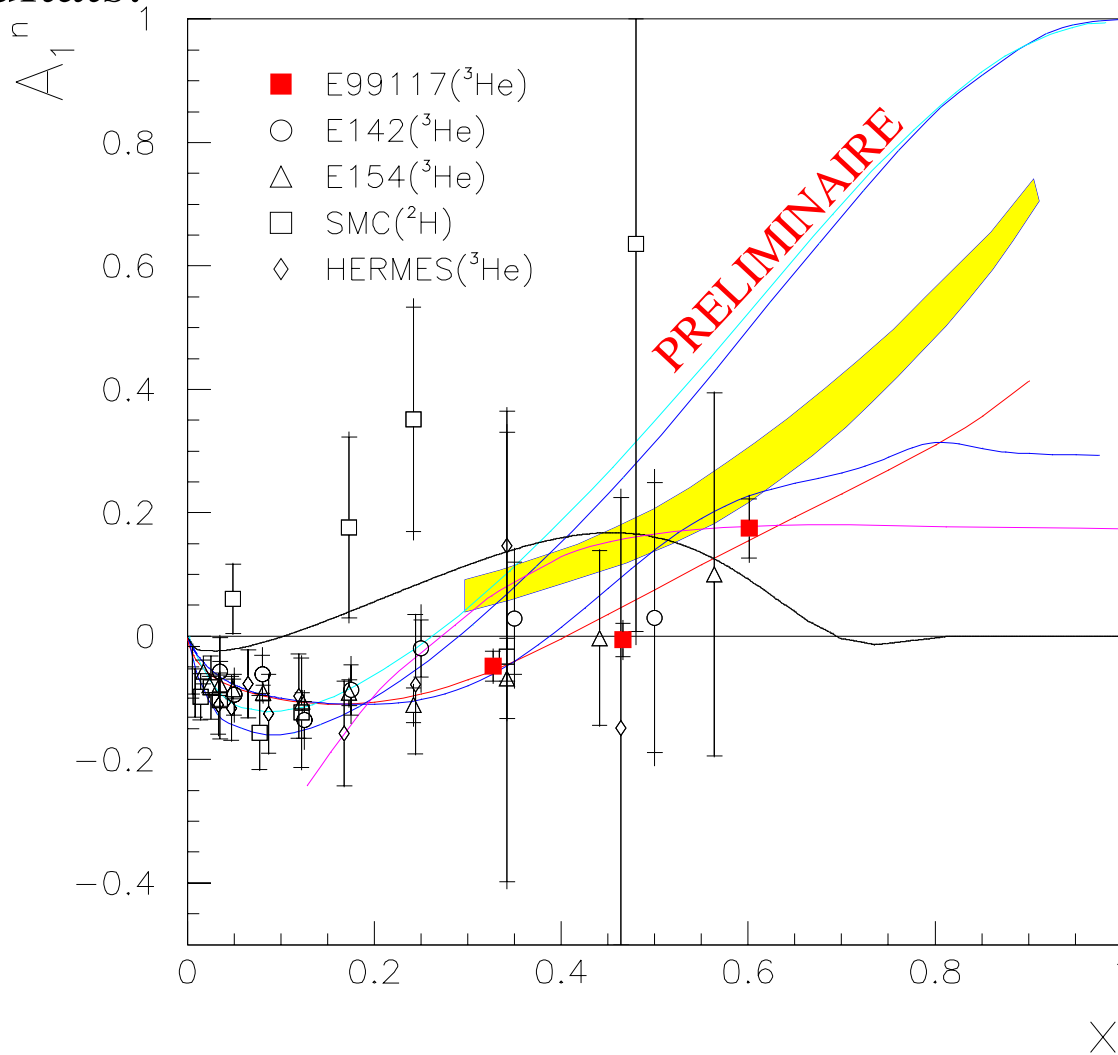
Conséquence:

Pas de données polarisées précises à grand x , un domaine pourtant privilégié pour tester pQCD

Solution:

Faisceau de haute intensité de JLAB & notre cible d $^3\vec{\text{He}}$ de haute densité

Résultats:

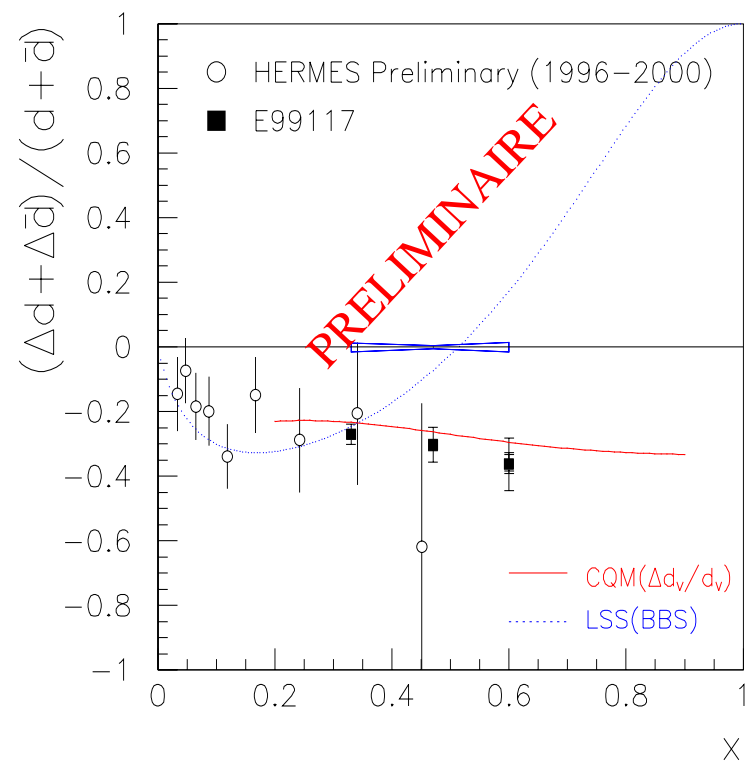
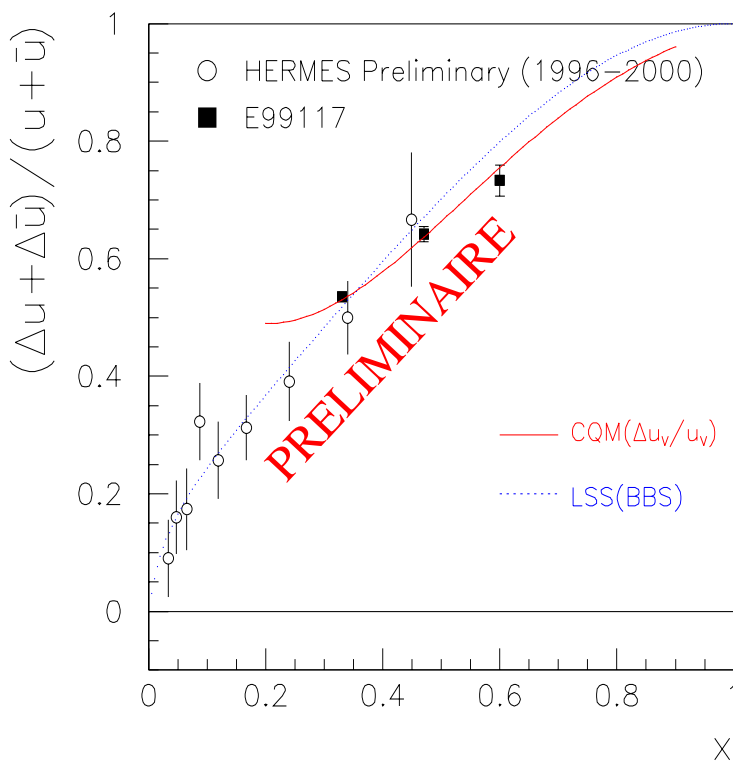


- Pour la première fois, claire tendance de A_1^n à devenir positif.
- Le modèle des quarks constituants reproduit la forme des données en étant systématiquement supérieur.
 - ⇒ La mer de Dirac joue encore un rôle
 - ⇒ Le concept de quark constituant est pertinent au-delà de son rôle en spectroscopie.
- Le calcul de pQCD supposant HHC ne suit pas les données ⇒ Rôle du moment orbital des quarks.

Autres résultats de l'expérience: $\Delta u/u$ & $\Delta p/p$

$$A_1 \approx \frac{g_1}{F_1}$$

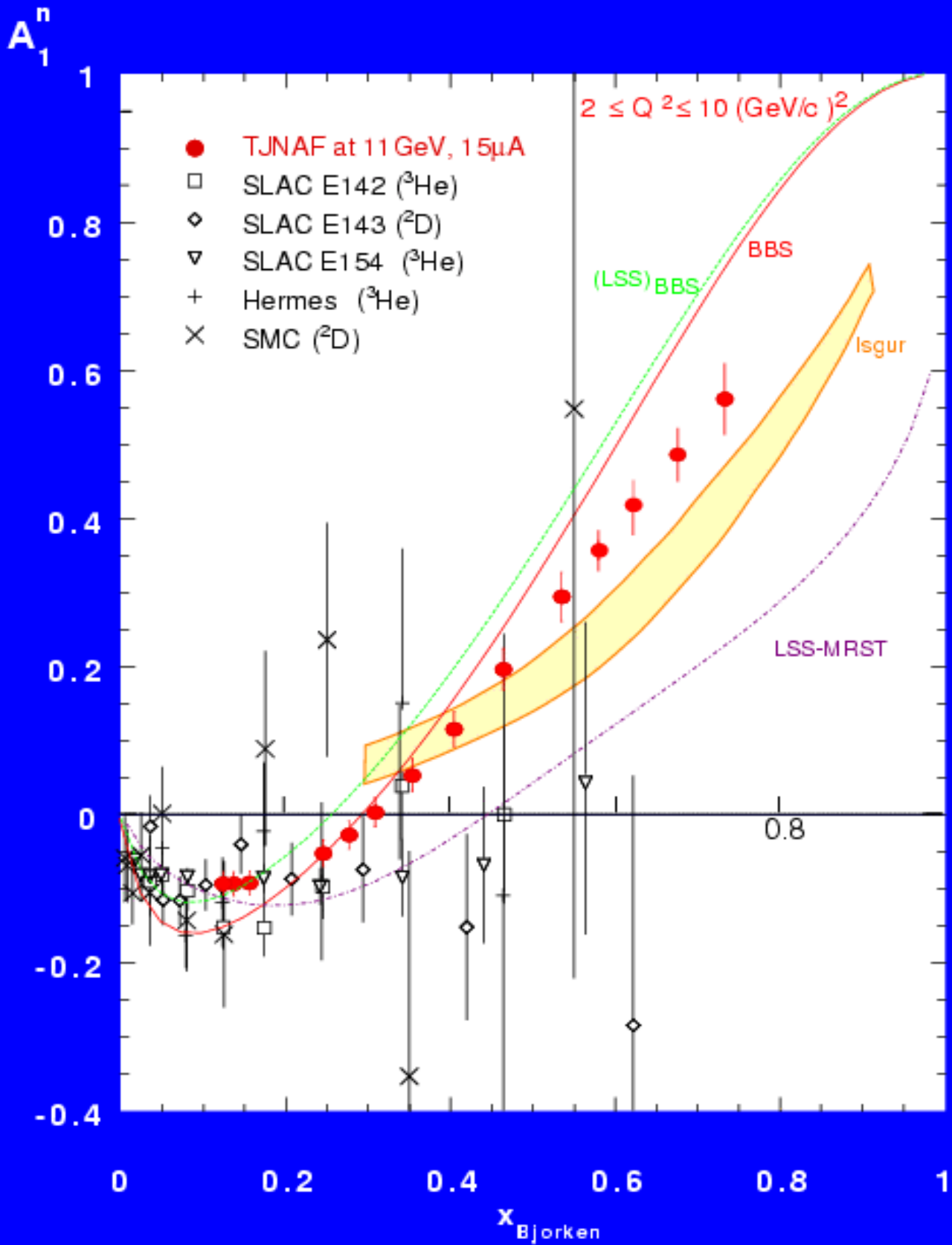
Dans le modèle des partons, g_1 et F_1 dépendent des distributions de partons. Supposant $\Delta s=0$ et connaissant A_1^n & A_1^p , on peut former $\Delta u/u$ & $\Delta p/p$.



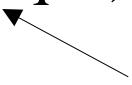
Le modèle des quarks constituants est clairement favorisé

⇒ Rôle du moment orbital des quarks.

Futur



Résumé & perspectives

- Programme cohérent d'étude de la structure en spin du nucléon dans les différents régimes de QCD
 - Règle de somme généralisée de GDH: Importante part de ce programme
 - GDH & Bjorken généralisées: Outils privilégiés pour l'étude de la transition partons–hadrons
 - Le programme sera (presque) achevé dans les quelques années à venir 
- Physique à bas x

Futur: [JLAB@12](#) GeV

Expériences semi–inclusive/exclusive

Physique à bas x

A_1 à grand x