

# Qu'apprend-on de la Structure du Proton avec les données de H1 ?



HERA et le détecteur H1



La Diffusion Profondément Inélastique

Les Fonctions de structure

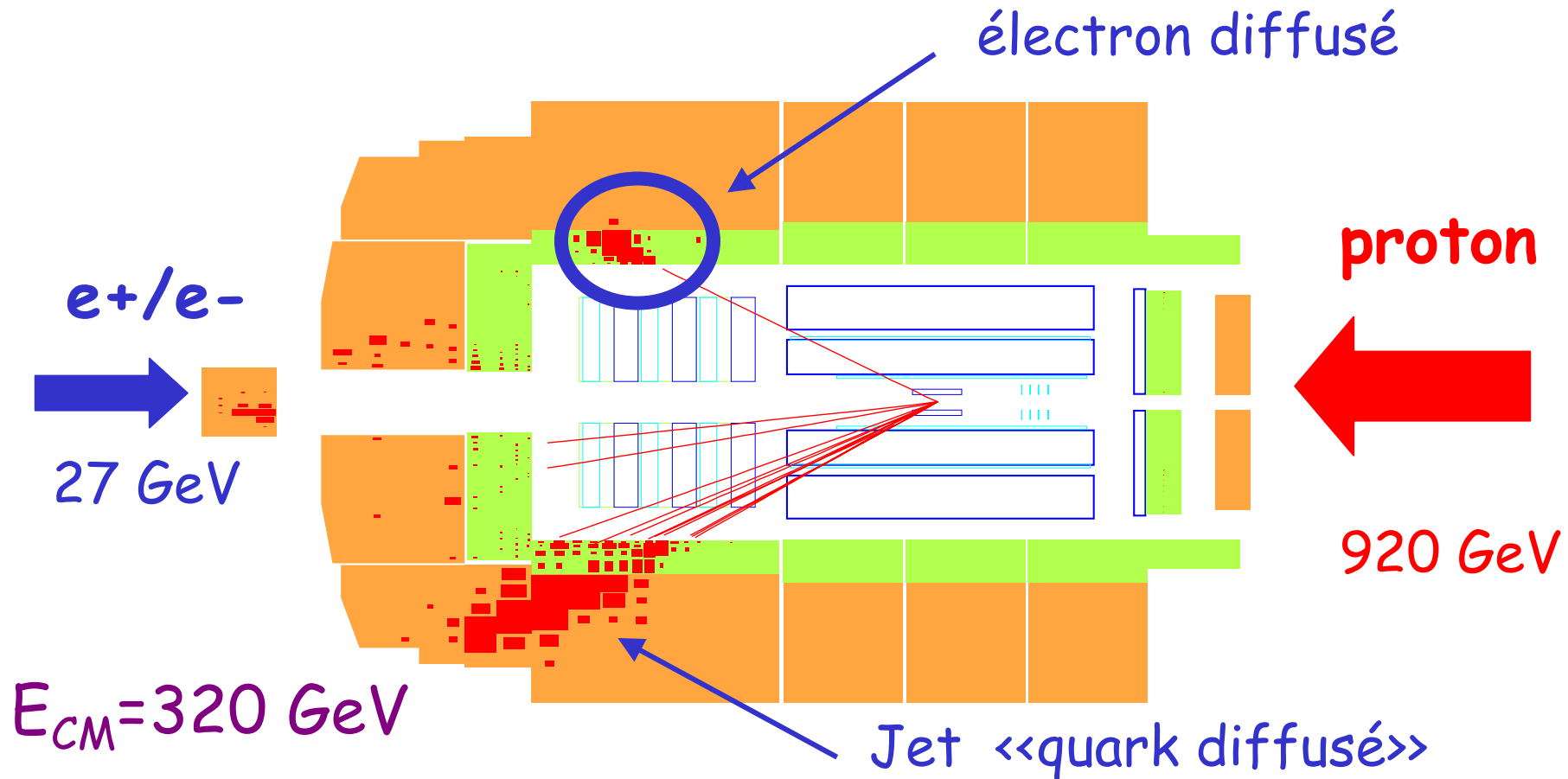
QCD et l'évolution



Impact des données de H1 sur les densités de partons

Benjamin Porthault, LAL Orsay

# HERA et le détecteur H1



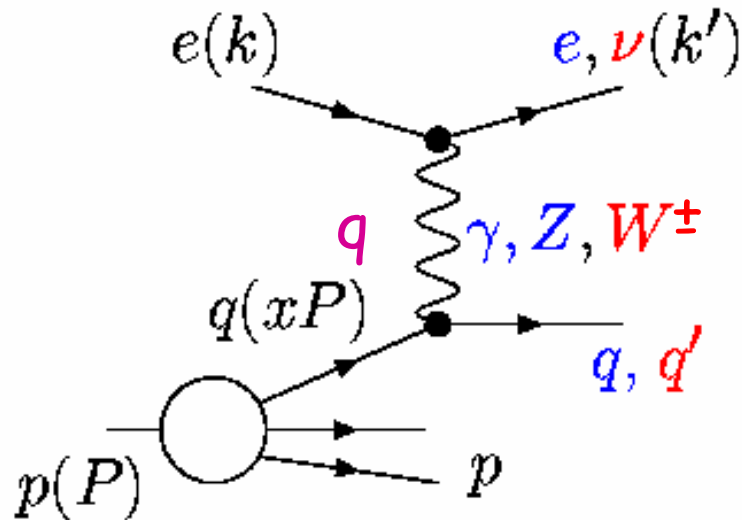
Interaction  $ep \rightarrow eX$  : état final «inclusif»

Mesurer une section efficace = compter des événements

# Diffusion Profondement Inélastique(DIS)

$\sigma(ep)$

Interactions électron quarks avec  $\gamma, Z^0$  Courant Neutre,  $W^{+/-}$  Courant Chargé



$$Q^2 = -(k' - k)^2 \quad s = (k + P)^2$$

$$x_B = Q^2 / 2P \cdot q \quad y = q \cdot P / k \cdot P$$

$x_B = x$  : fraction d'impulsion du quark qui interagit  
 $-q^2 = Q^2$  : virtualité du boson échangé  $\rightarrow$  distance sondée dans le proton

$\sigma(ep)$  S'écrit à l'aide de fonctions de structure

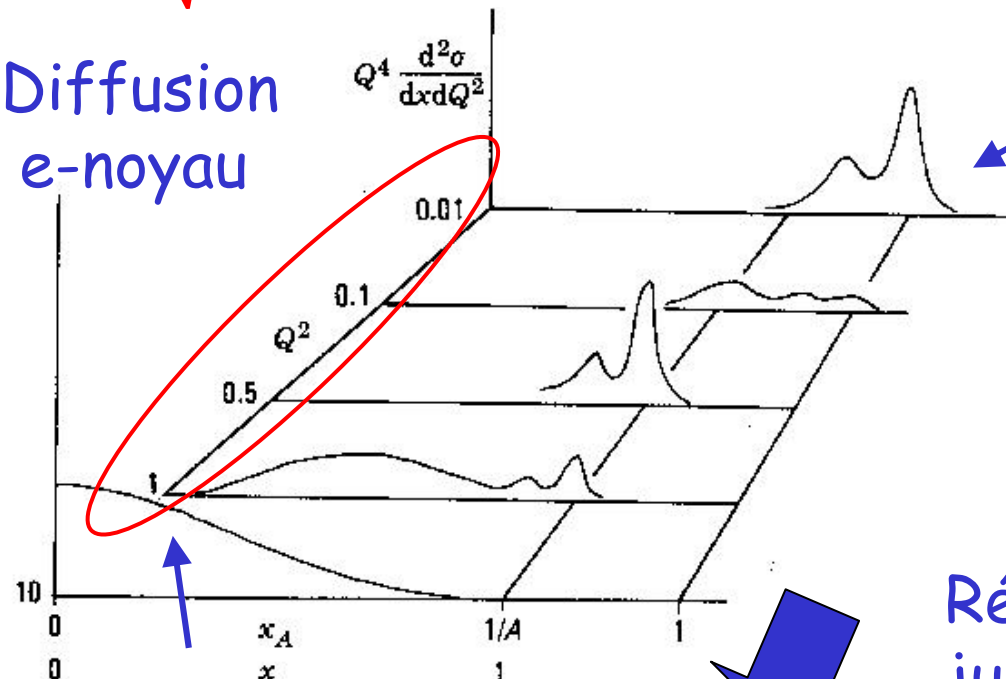
$$\frac{d^2 \sigma_{NC}^{\pm}}{dx dQ^2} = \frac{2\pi\alpha^2}{xQ^4} \left[ Y_+ \tilde{F}_2 - y^2 \tilde{F}_L \mp Y_- x\tilde{F}_3 \right]$$

# Différents régimes cinématiques

$$\lambda \sim \frac{\hbar}{\sqrt{Q^2}}$$

Distance sondée par le boson virtuel

Diffusion e-noyau



Facteur de forme

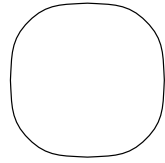
Régime de JLAB

Régime de HERA jusqu'à

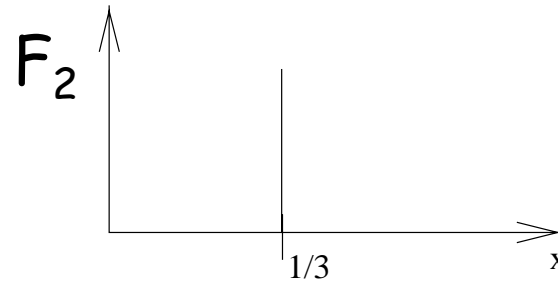
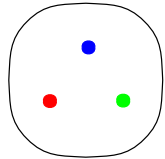
$$Q^2 \sim M_Z^2$$

Fonction de structure

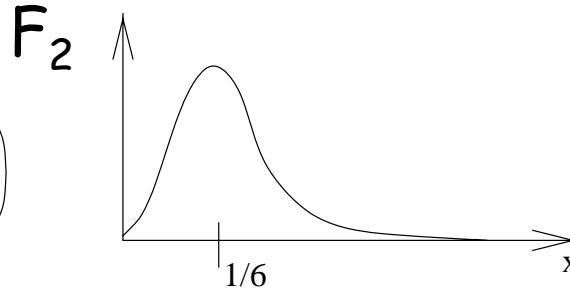
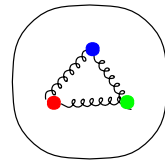
Si le proton  
était 1 quark



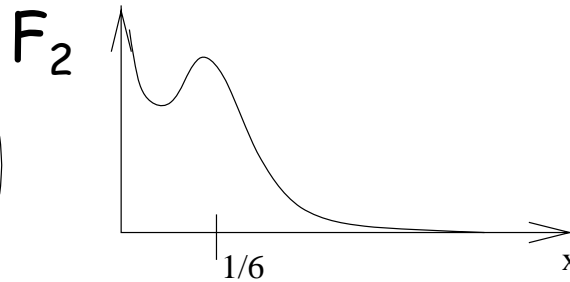
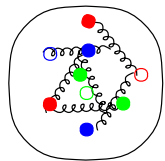
Si le proton  
était 3 quarks



Si le proton  
était 3 quarks  
liés



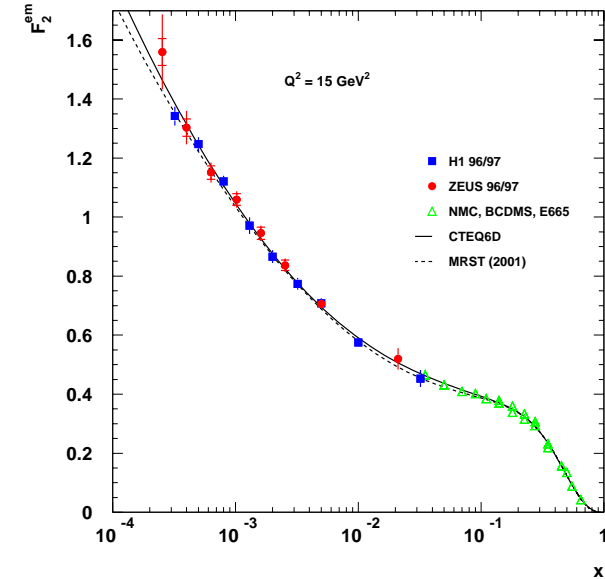
Si le proton était 3  
quarks liés +  
une mer  
de quarks/  
antiquarks



JJC 2003

Benjamin Porthault

Réalite :



Mais QCD  
entre en jeu ...

# QCD : le théoreme de factorisation

$$d\sigma = \sum_i d\tilde{\sigma}_i \otimes f_i(x, Q^2)$$

Physique à **courte distance**  
Calculable en QCD (élément  
de matrice)

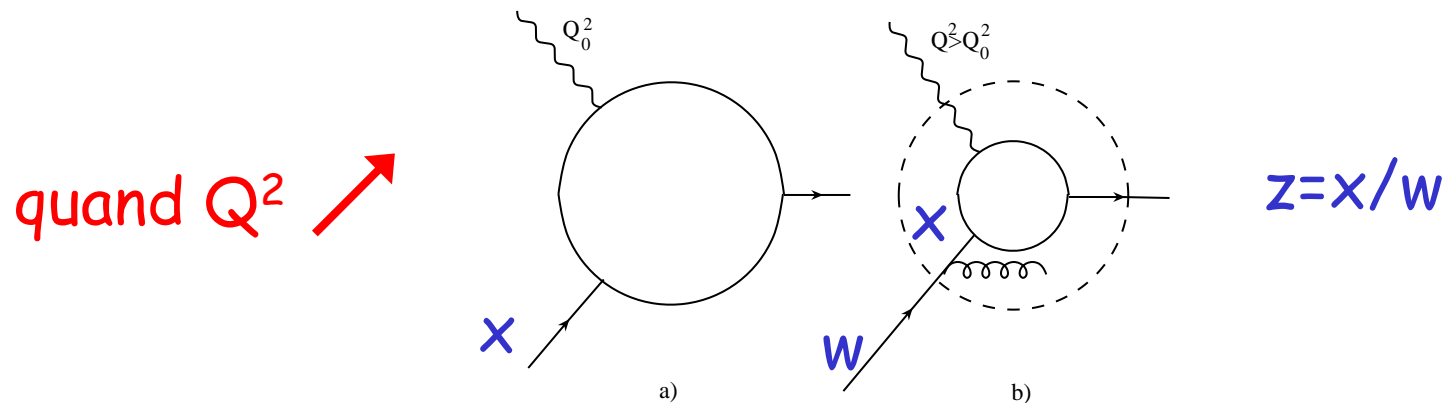
Physique à **longue distance**  
Pas 'calculable', non  
perturbatif

$f(x, Q^2)$  est **universelle** (interaction pp, DIS de  
neutrinos... ) -> densité de parton (pdf)

Crucial de connaitre pour toute physique faisant  
intervenir un hadron (LHC ...)

$F_2 \propto e_u^2(u + \bar{u}) + e_d^2(d + \bar{d}) + \dots$  Probabilité de trouver un parton  
avec la fraction d'impulsion  $x$

$f(x, Q^2)$  évolue perturbativement avec  $dQ^2/Q^2 = d \log Q^2$

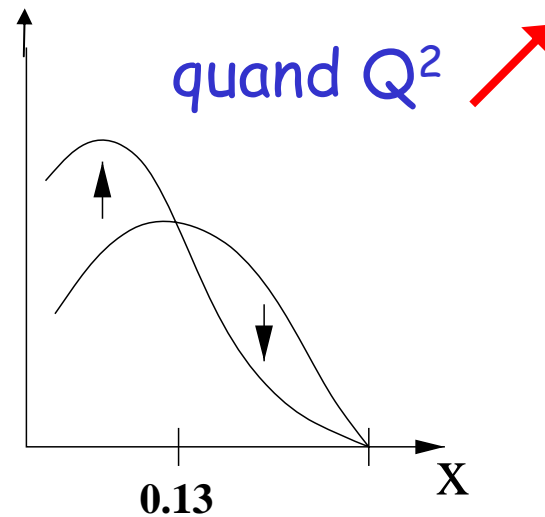
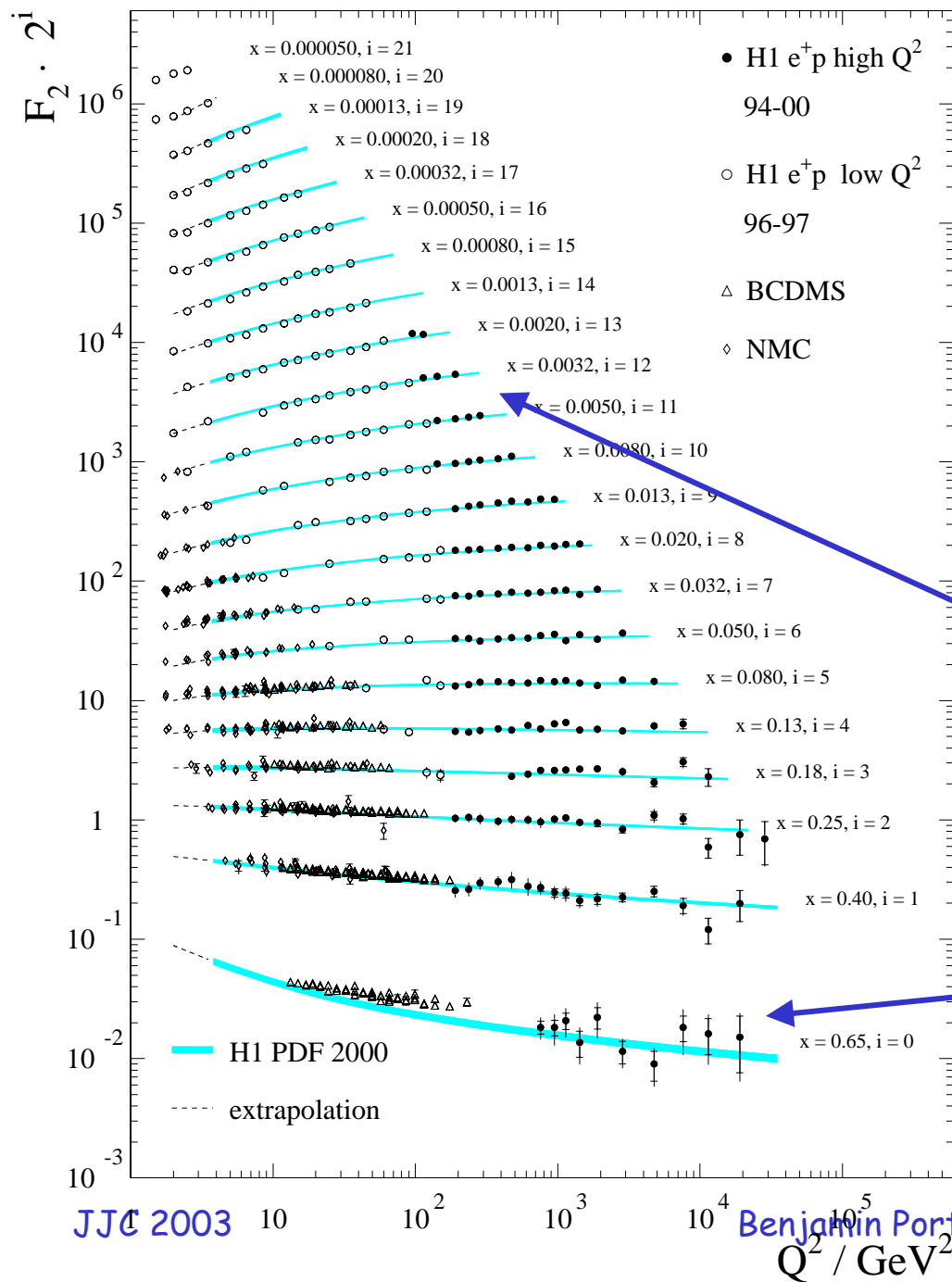


Modification du nombre de quarks portant une fraction d'impulsion  $x$

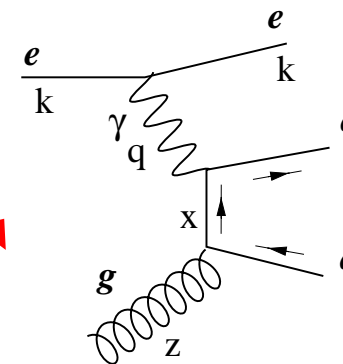
De façon générale on obtient des **équations d'évolution** (ou DGLAP) couplées entre quarks, antiquarks et gluons

Si on connaît les p.d.f. pour tout  $x$  à un  $Q_0^2$  donné, on peut les calculer pour tout  $Q^2$

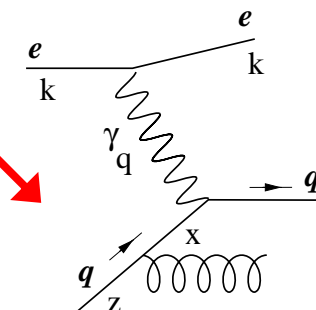
$$f(x, Q_0^2) \Rightarrow f(x, Q^2)$$



A petit  $x$   
 $g \rightarrow qq\bar{q}$   
 domine :  $F_2$



A grand  $x$   
 radiation  
 de gluon :  $F_2$



JJC 2003

Benjamin Porthault



# Extraction des densités de partons

Courants Neutres  $F_2 \propto \frac{4}{9}(u+c+\bar{u}+\bar{c}) + \frac{1}{9}(d+s+\bar{d}+\bar{s})$

Neutres  $xF_3 \propto \alpha^\pm(u+c-\bar{u}-\bar{c}) + \beta^\pm(d+s-\bar{d}-\bar{s})$

Courants Chargés  $e^+p \quad \tilde{\sigma}_{CC}^- = x \left[ u+c + (1-y)^2 (\bar{d}+\bar{s}) \right]$

Chargés  $e^-p \quad \tilde{\sigma}_{CC}^+ = x \left[ \bar{u}+\bar{c} + (1-y)^2 (d+s) \right]$

Les données inclusives sont aveugles à la saveur

Paramétrisation de :

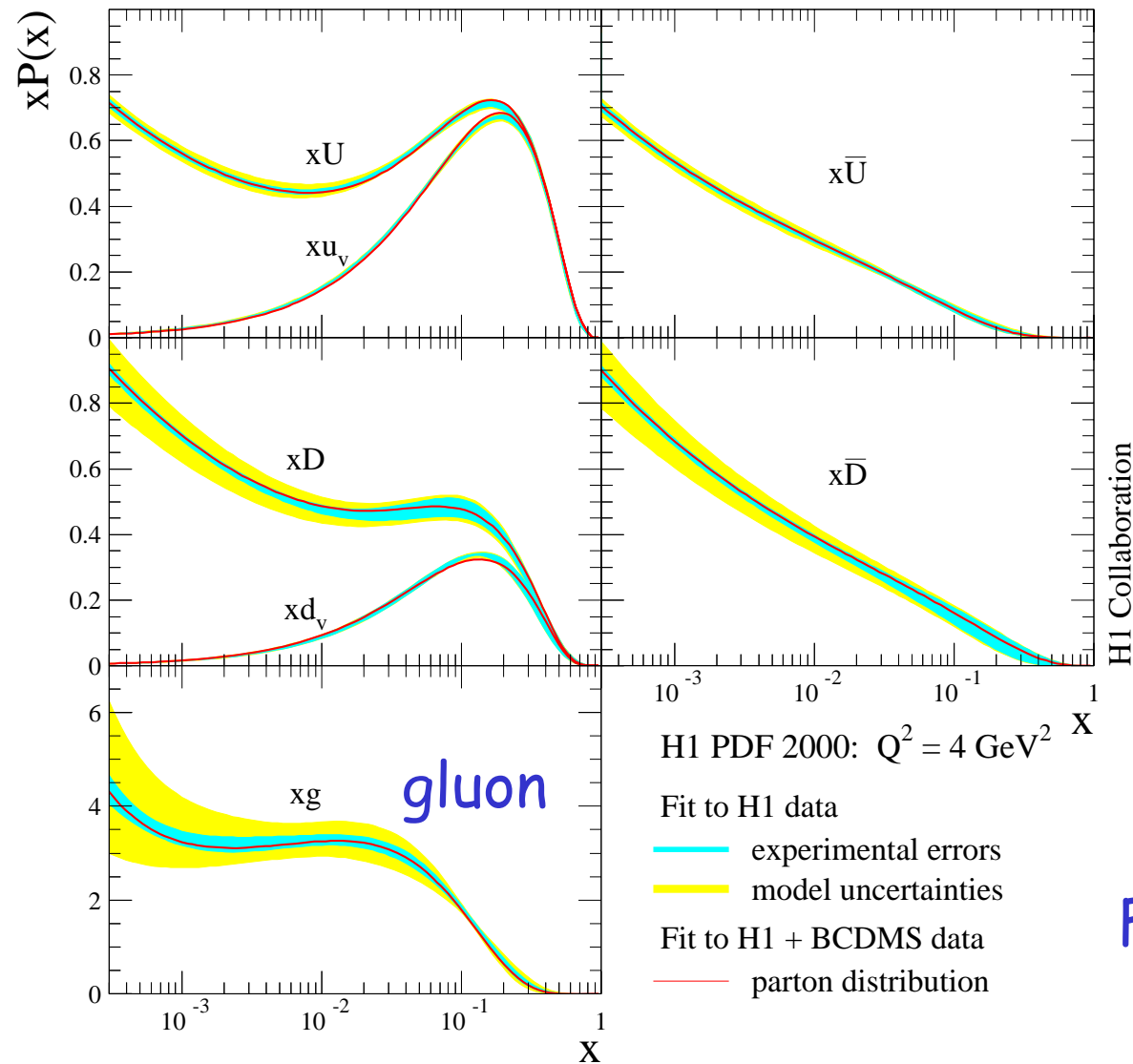
$$g, U = u + c, D = d + s, \bar{U}, \bar{D}$$

# Extraction des densités de partons : Principe

➔ Les sections efficaces mesurées avec H1  
S' écrivent en fonction des densités de partons (pdfs)

➔ Les pdfs évoluent avec  $Q^2$

➔ On ajuste les pdfs a un  $Q_0^2$   
= on ajuste les sections efficaces a  $Q^2 > Q_0^2$



# Résultat du Fit

Précision de quelques%  
(sauf à grand x)

Extraction pour la première fois à l'aide d'une seule expérience

Fonctions disponibles sur le web, à utiliser pour vos Monte Carlos !

# Conclusion

- Une mesure (même inclusive !) des Diffusions Profondément Inélastiques permet d'apprendre beaucoup sur la structure du proton
- Seulement une toute petite partie de la physique faite à HERA : Jets, «Diffraction», Recherche de nouvelles particules ...
- Physique riche et intéressante

# Procédure d'ajustement

1) On suppose une forme paramétrique a un  $Q_0^2$  de départ

$$f(x, Q_0^2) = Ax^B (1-x)^C (1 + Dx + Ex^2 + Fx^3 + Gx^4)$$

2) On résout numériquement les équations d'évolution pour avoir  $f(x, Q^2)$  et on calcule les sections efficaces (le tout avec QCD a 2 boucles)

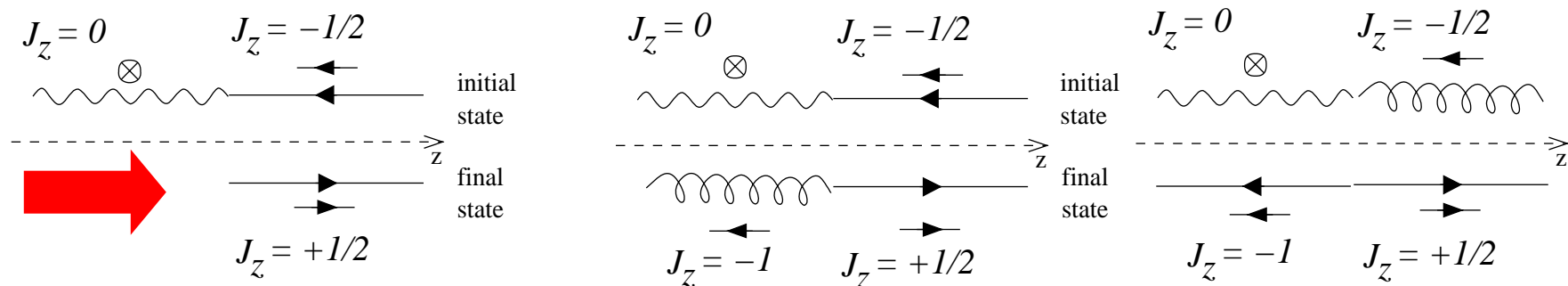
3) On calcule un  $\chi^2$  qui prend en compte la corrélation des erreurs systématiques

$$\chi^2 = \sum_{ex} \sum_{data} \frac{(\sigma^{ex} - \sigma^{th}(1-s))^2}{stat^2 + uncsyst^2} + \sum_{ex} s^2$$

4) On minimise ce  $\chi^2$  par rapport aux paramètres A, B ... en retournant a 1)

# La fonction de structure $F_L$

$F_L$  lié à l'interaction des photons polarisés transversalement



Non nul à l'ordre un en  $\alpha_s$

Contribution tres faible sauf à grand  $y$  (i.e. petit  $x$ )



Contrainte sur la densité de gluons

# La fonction de structure $F_3$

$F_3$  lié à la violation de parité dans les interactions e-p

$$\sigma \propto \left| \begin{array}{c} e \rightarrow \rightarrow e\# \\ \quad \quad \quad \gamma \\ q \rightarrow \rightarrow q\# \end{array} + \begin{array}{c} e\# \rightarrow \rightarrow e\# \\ \quad \quad \quad Z^0 \\ q \rightarrow \rightarrow q \end{array} \right|^2$$

➔ à l'interférence  $\gamma$ -Z et à l'échange de Z

➔ Contribution faible sauf à grand  $Q^2$