

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

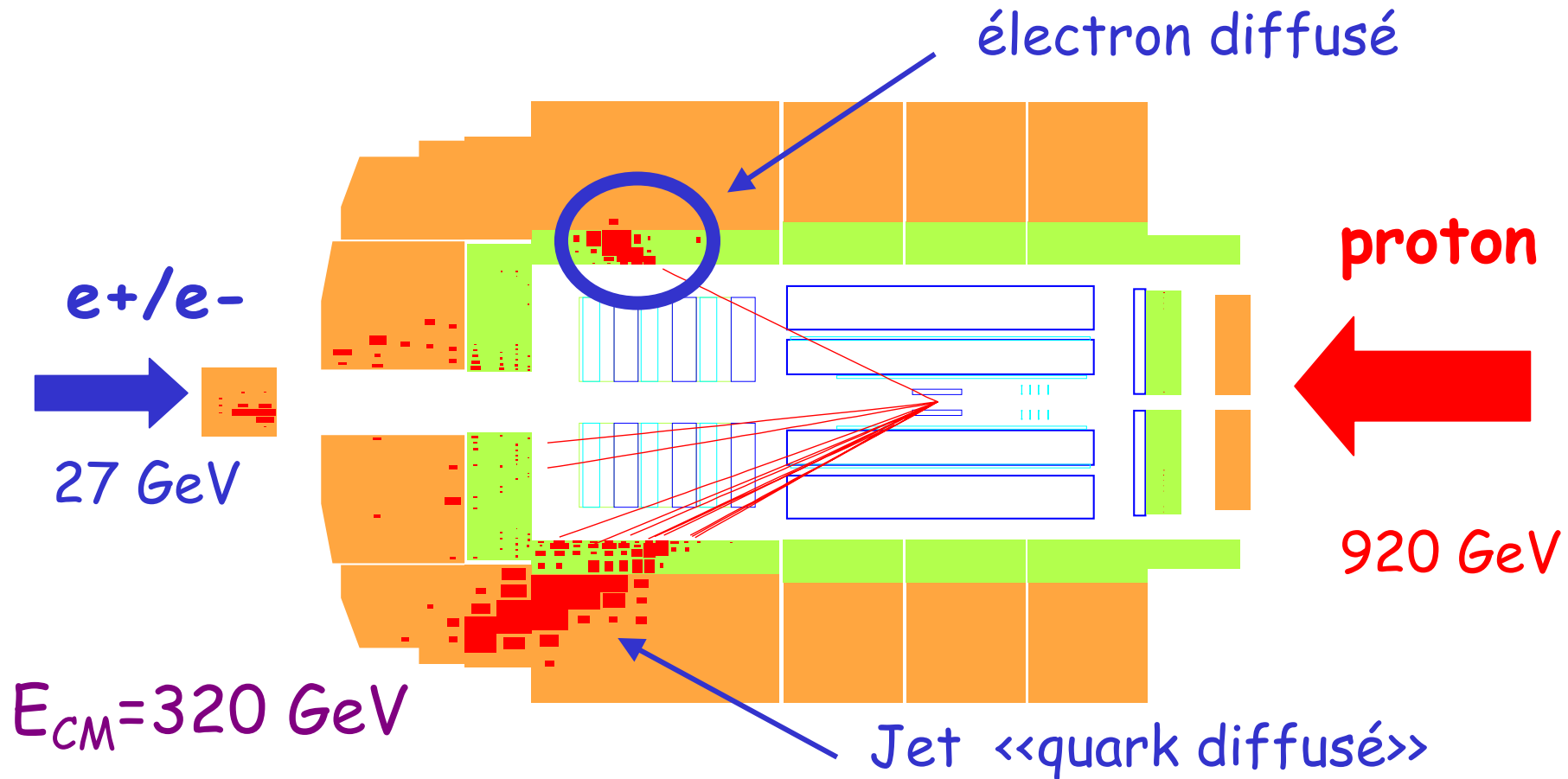
QCD et l'évolution



Impact des données de H1 sur les densités de partons

Benjamin Porthault, LAL Orsay

HERA et le détecteur H1



$E_{CM} = 320 \text{ GeV}$

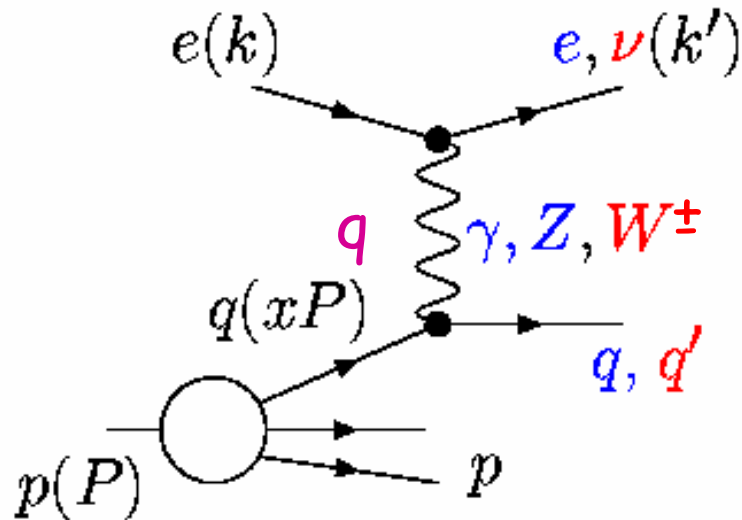
Interaction $ep \rightarrow eX$: état final $\ll \text{inclusif} \gg$

Mesurer une section efficace = compter des événements

Diffusion Profondement Inélastique(DIS)

$\sigma(ep)$

Interactions électron quarks avec γ, 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

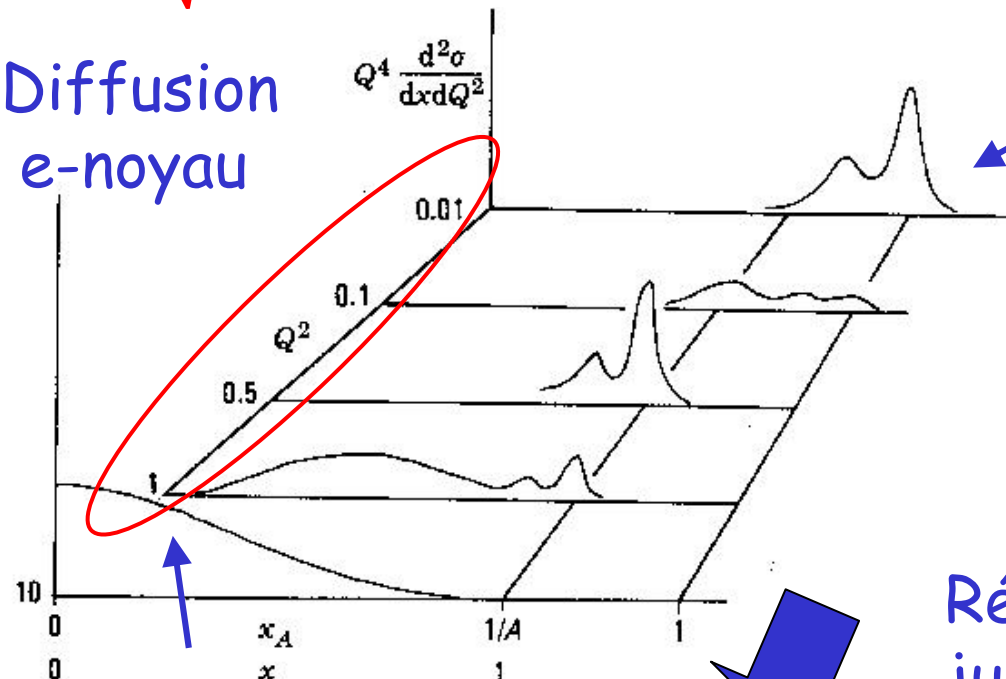
$$\frac{d^2 \sigma_{NC}^{\pm}}{dx dQ^2} = \frac{2\pi\alpha^2}{xQ^4} \left[Y_+ \tilde{F}_2 - y^2 \tilde{F}_L \mp Y_- x\tilde{F}_3 \right]$$

Différents régimes cinématiques

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

Distance sondée par le boson virtuel

Diffusion e-noyau



Facteur de forme

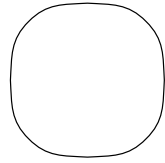
Régime de JLAB

Régime de HERA jusqu'à

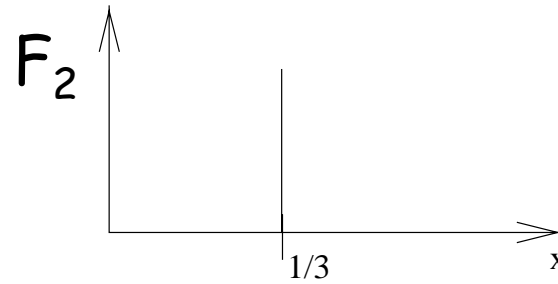
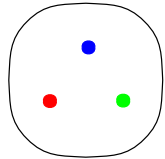
$$Q^2 \sim M_Z^2$$

Fonction de structure

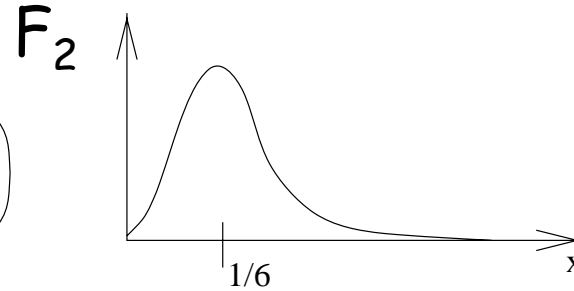
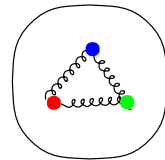
Si le proton
était 1 quark



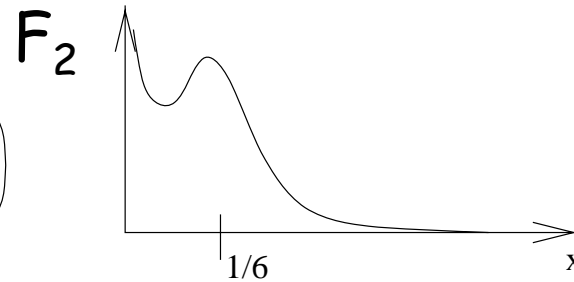
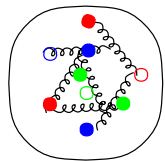
Si le proton
était 3 quarks



Si le proton
était 3 quarks
liés



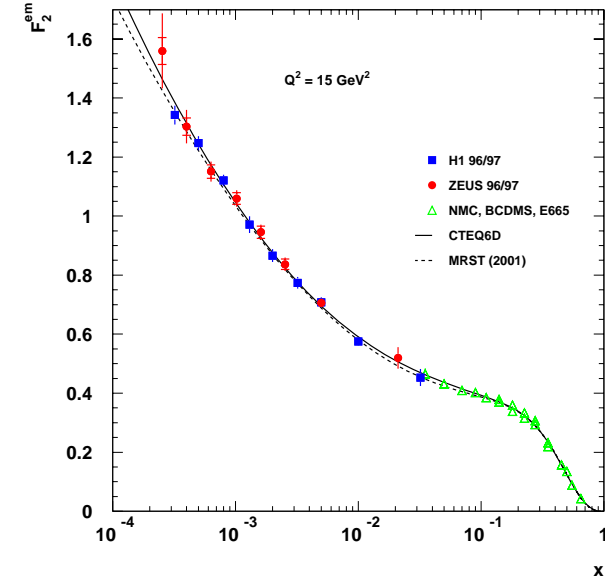
Si le proton était 3
quarks liés +
une mer
de quarks/
antiquarks



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)

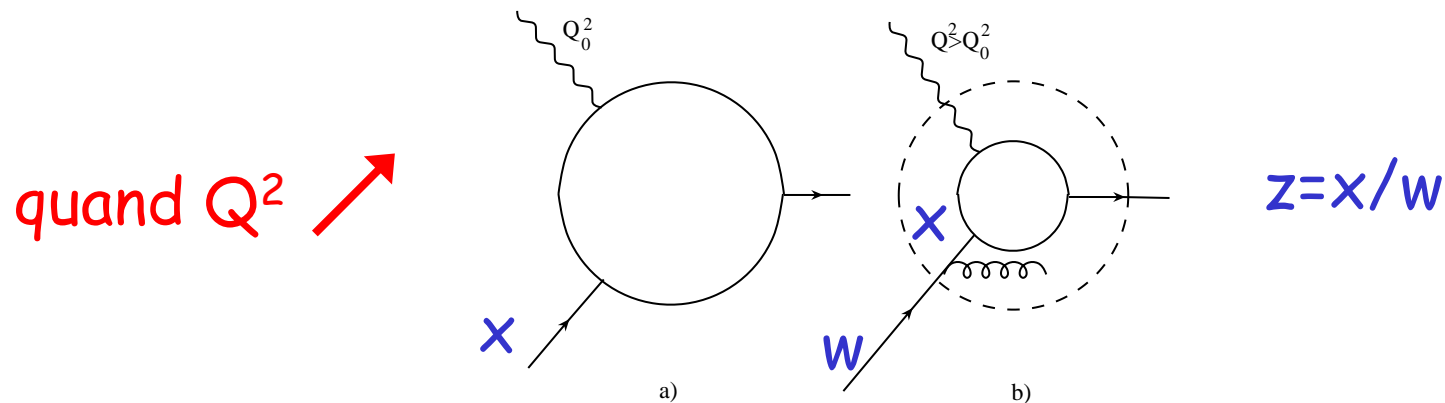
Physique à **longue distance**
Pas 'calculable', non
perturbatif

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

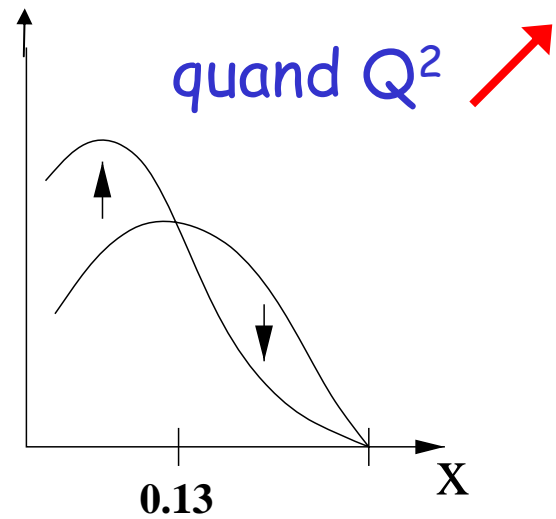
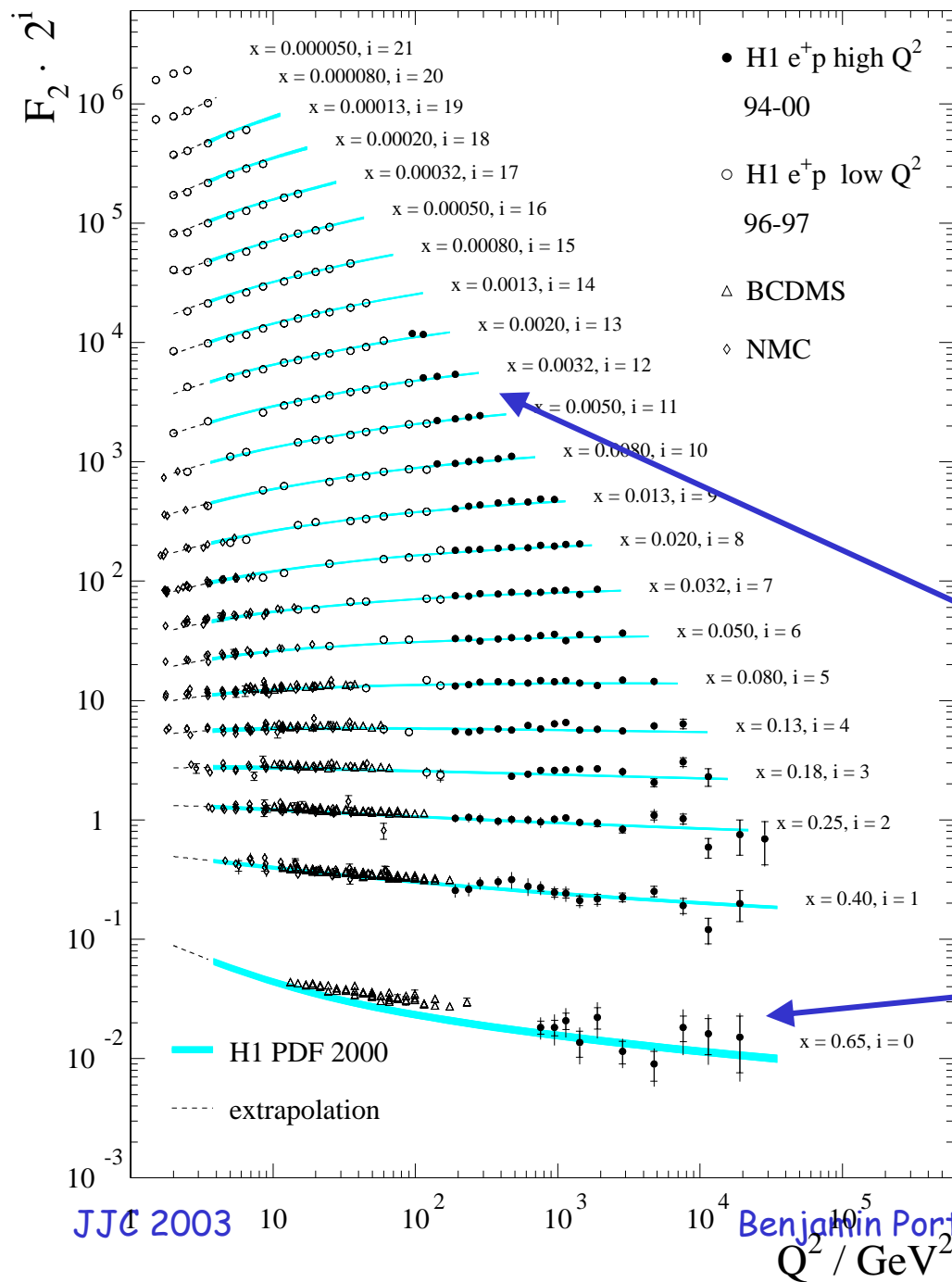


Modification du nombre de quarks portant une fraction d'impulsion x

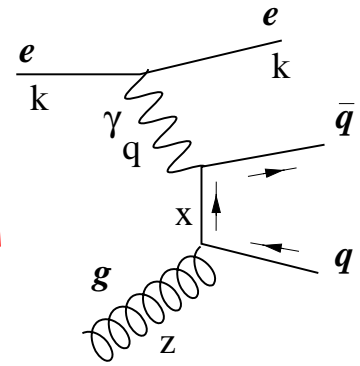
De façon générale on obtient des **équations d'évolution** (ou DGLAP) couplées entre quarks, antiquarks et gluons

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

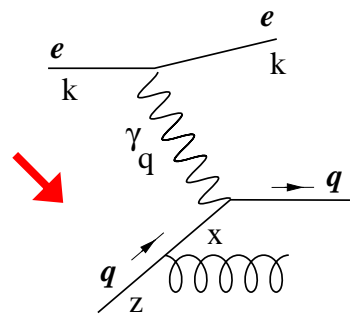
$$f(x, Q_0^2) \Rightarrow f(x, Q^2)$$



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



A grand x
 radiation de gluon : F_2



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 :

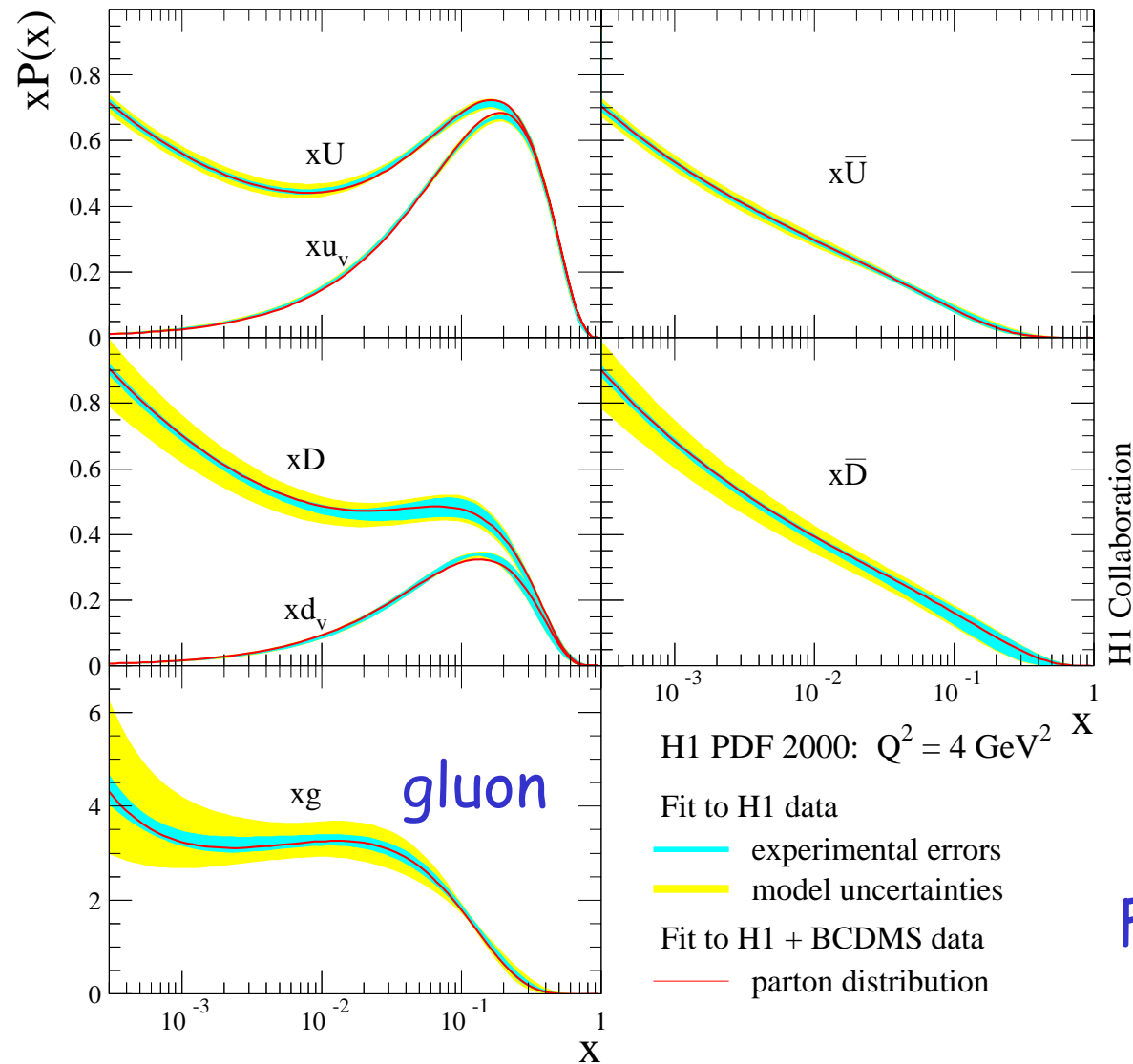
$$g, U = u + c, D = d + s, \bar{U}, \bar{D}$$

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)

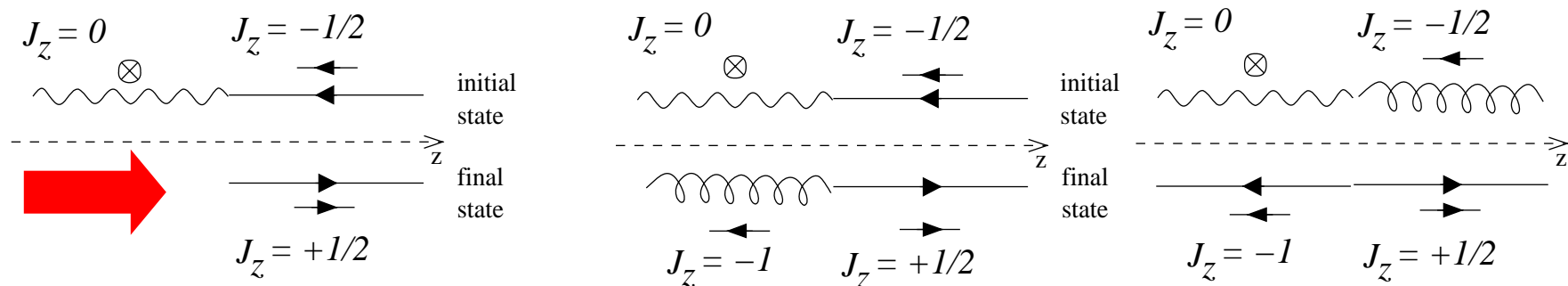
3) On calcule un χ^2 qui prend en compte la corrélation des erreurs systématiques

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

4) On minimise ce χ^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 α_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 γ - Z et à l'échange de Z

➔ Contribution faible sauf à grand Q^2