

Mesure de la production de jets dans l'expérience DØ

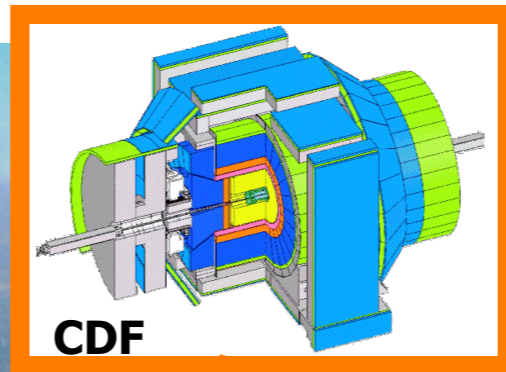
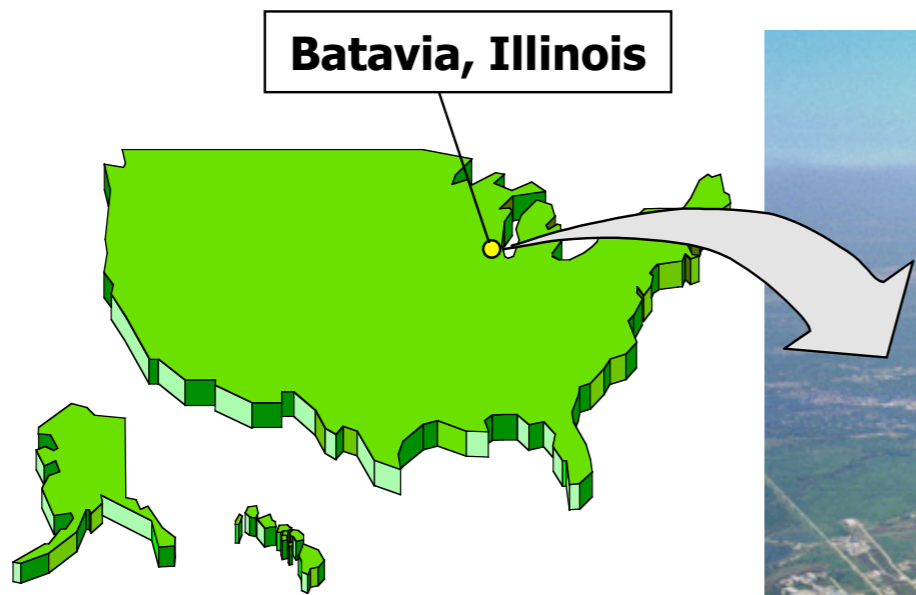
Jean-Laurent Agram
GRPHE Mulhouse-Strasbourg



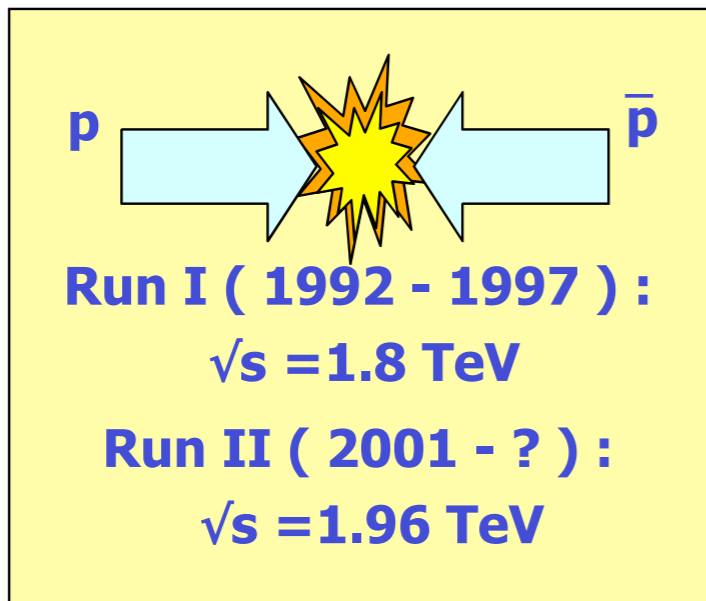
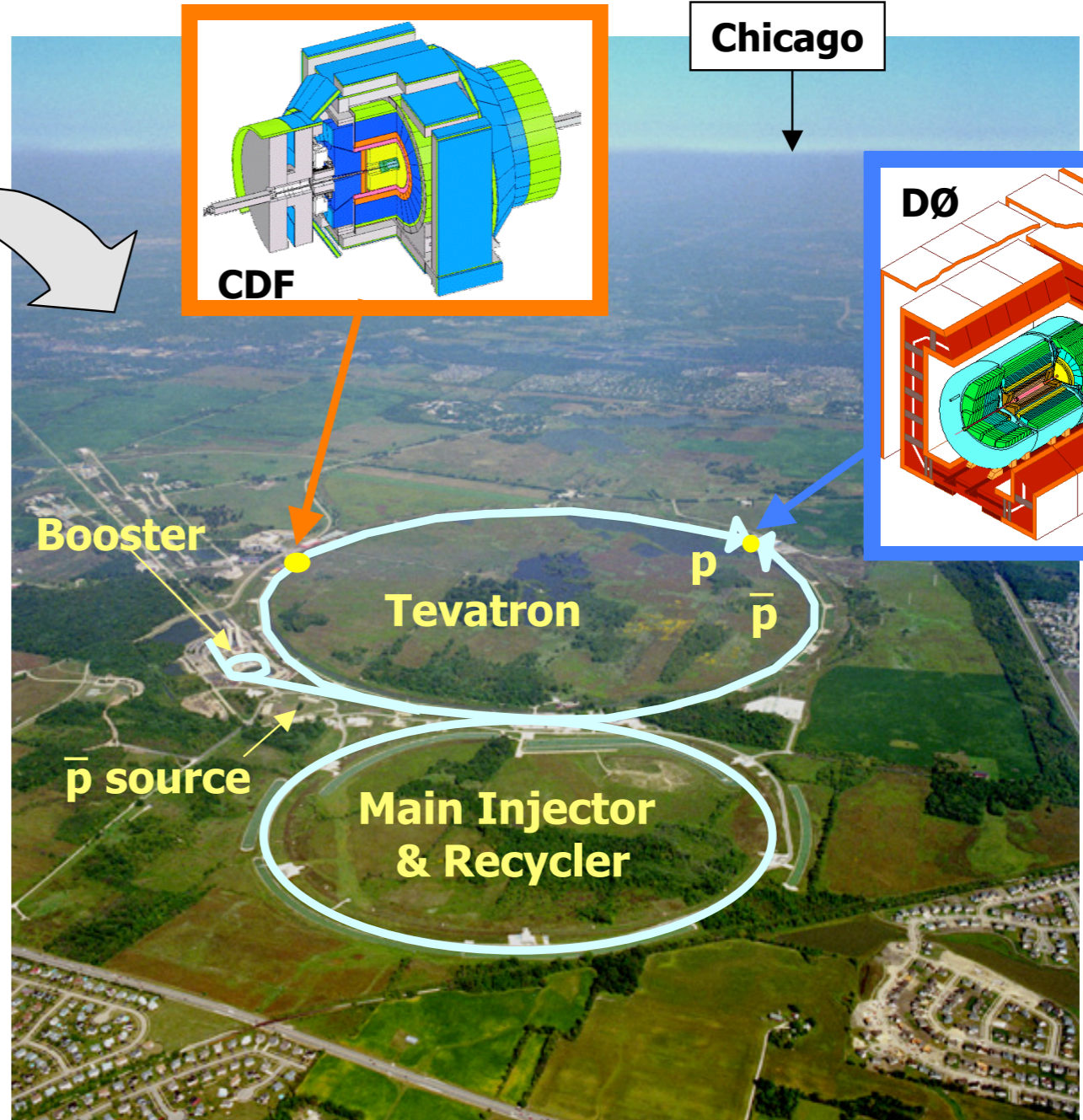
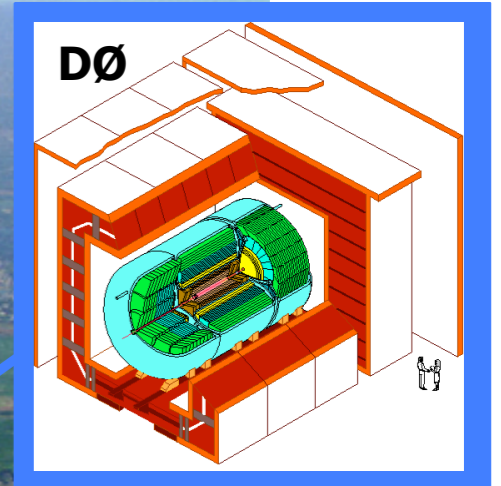
Plan

- Le Tevatron, le détecteur DØ
- Les jets dans le détecteur
- la mesure de la section efficace inclusive
- les autres sections efficaces

Tevatron : DØ et CDF



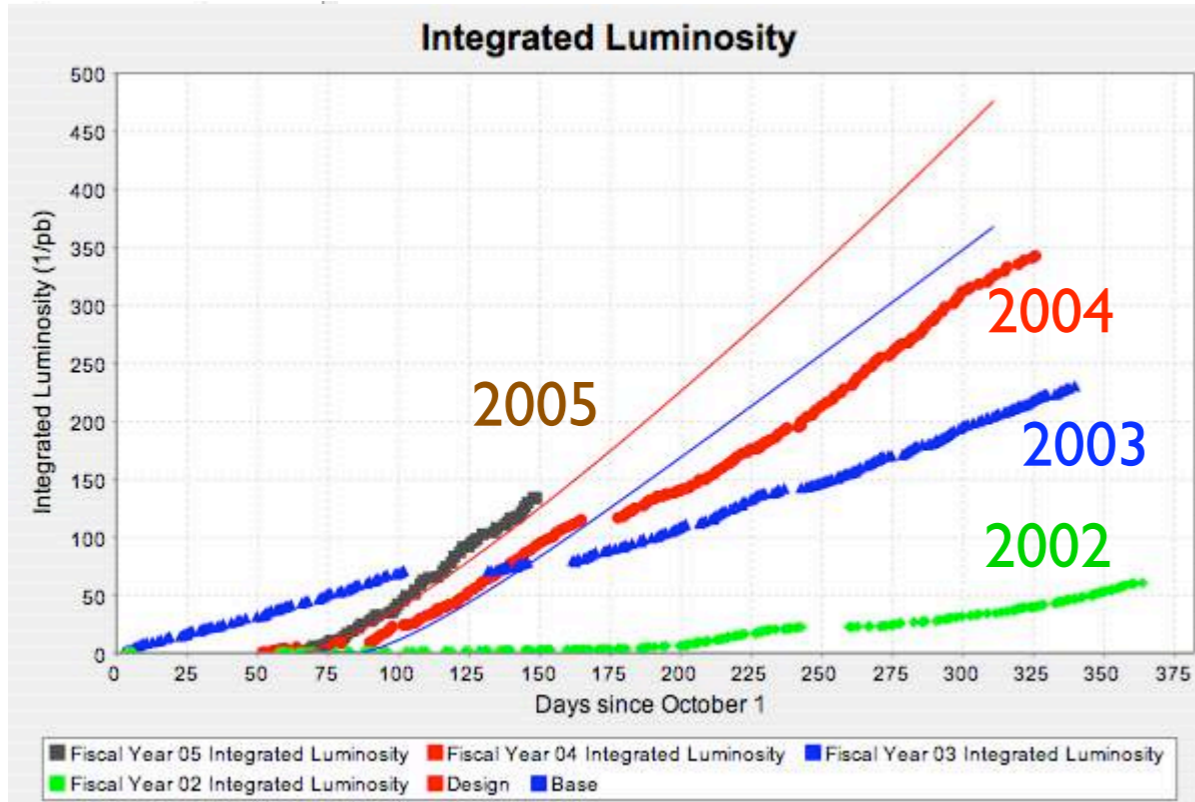
Chicago



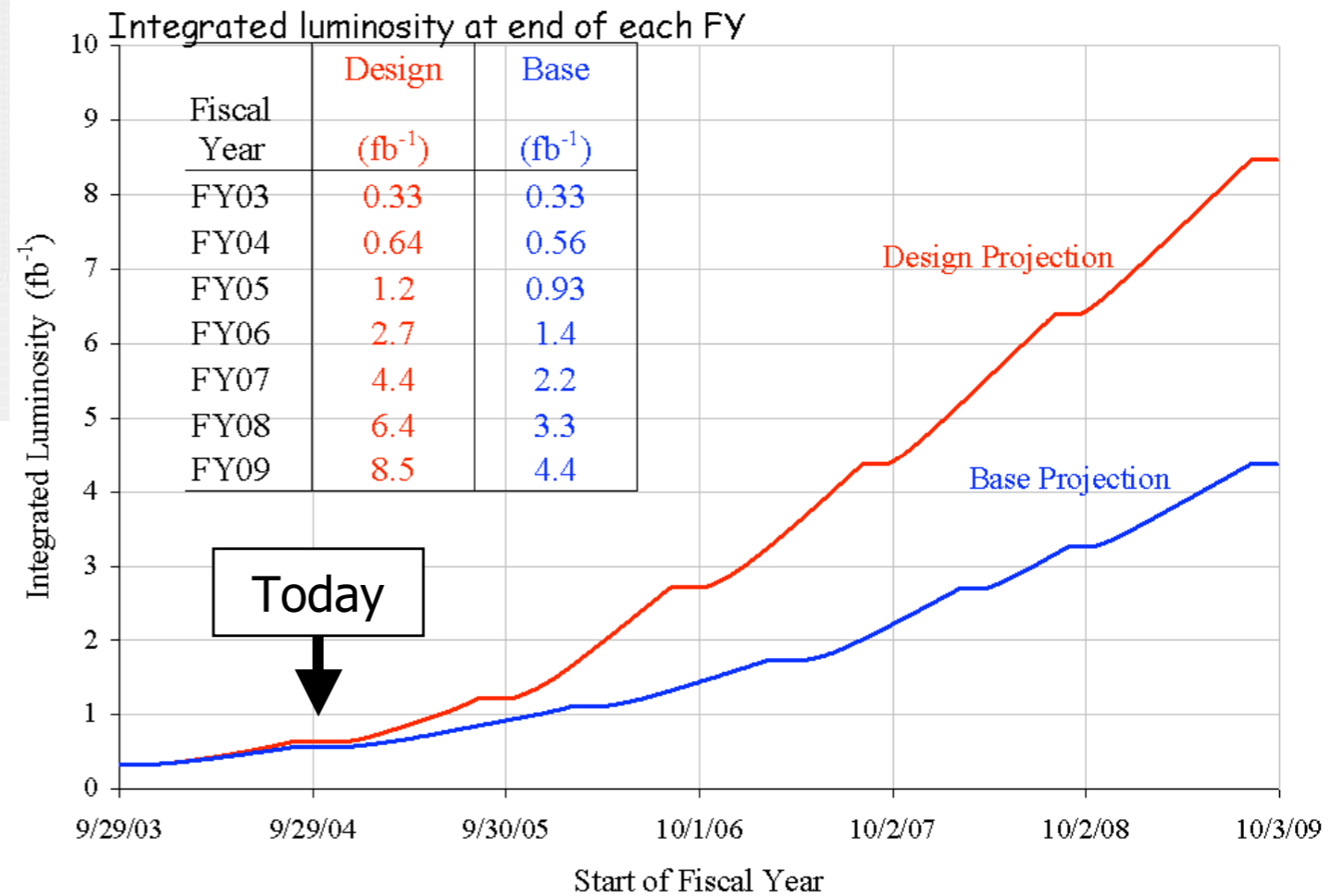
$\sim 100 \text{ pb}^{-1}$

$\sim 600 \text{ pb}^{-1}$
actuellement

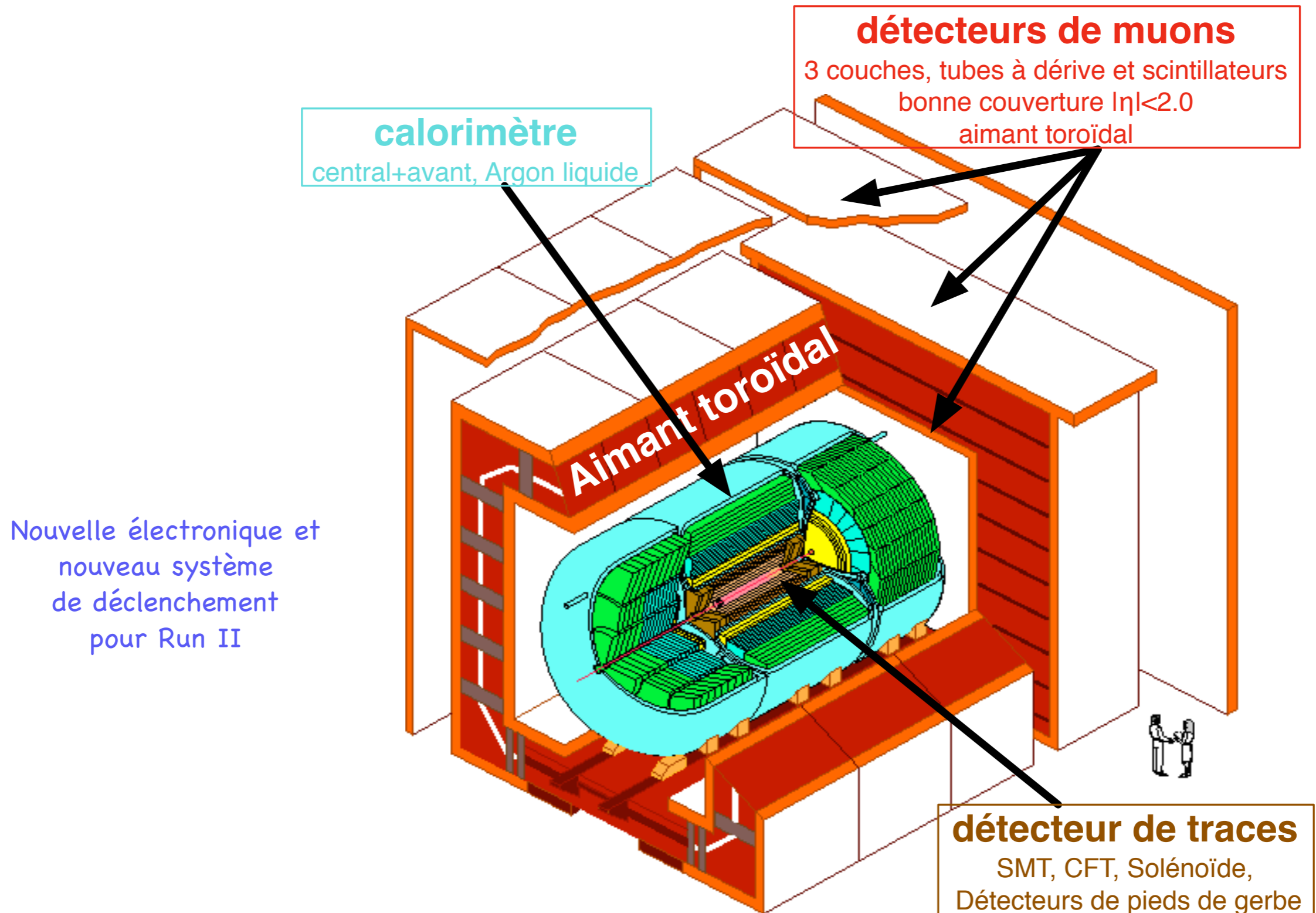
Luminosité du Tevatron



- Le Tevatron fonctionne bien, notamment le recycleur de pbar
- efficacité de prise de données > 80%
- ~600 pb⁻¹ sur bandes
- beaucoup de données seront encore prises avant le début du LHC



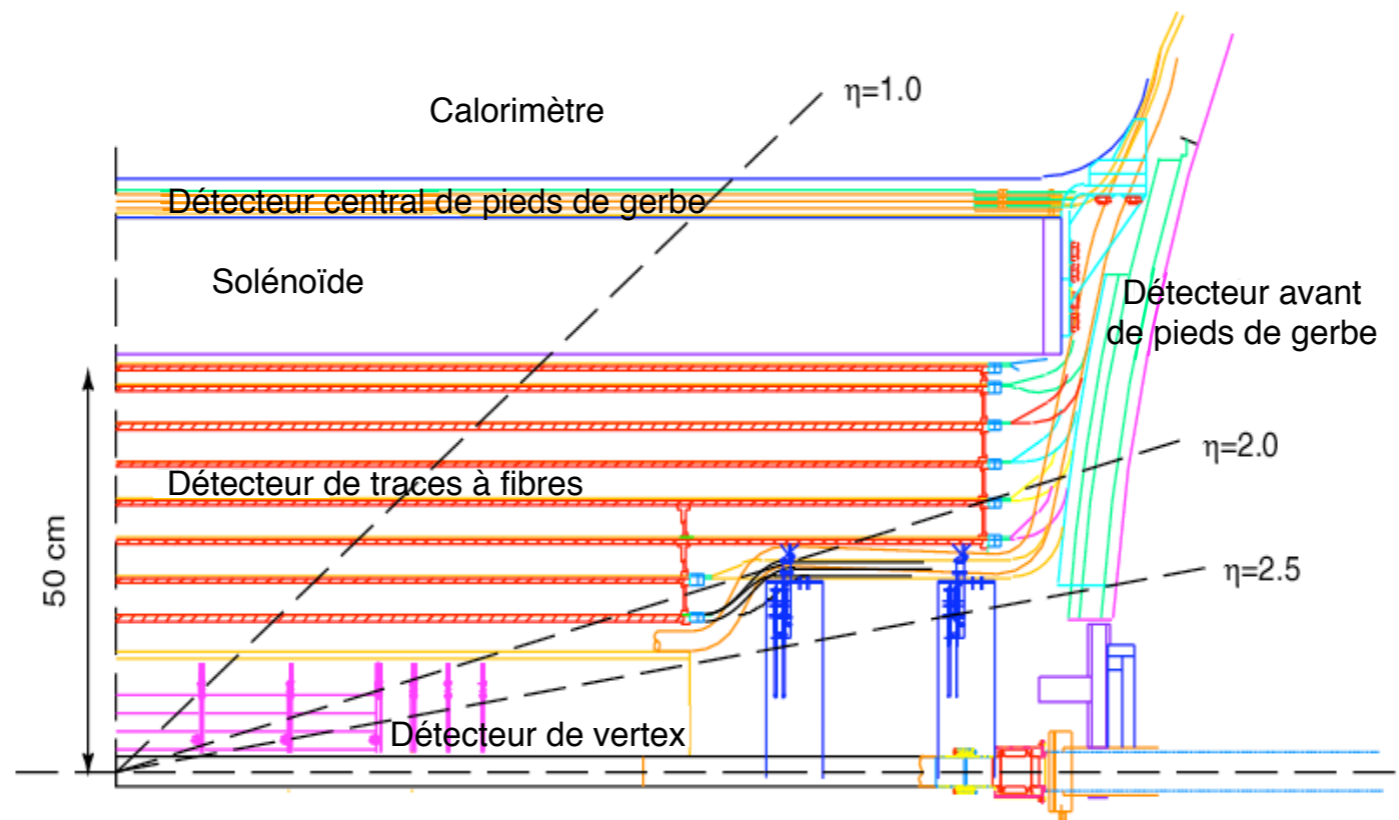
Le détecteur DØ



Le détecteur central

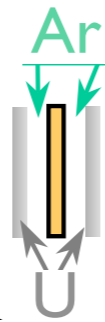
Run II :

- Silicon Microstrip Tracker : détection des vertex
détecteurs silicium à pistes ; tonneaux + disques
- Central Fiber Tracker : fibres scintillantes, dans le sens du faisceau
- Solénoïde 2 Tesla
- Détecteurs de pieds de gerbe : central et avant; détection de traces et calorimétrie
absorbeur en Pb + bandes de scintillateurs



Le calorimètre

- Calorimètre à Argon liquide avec absorbeur en U, Cu, acier



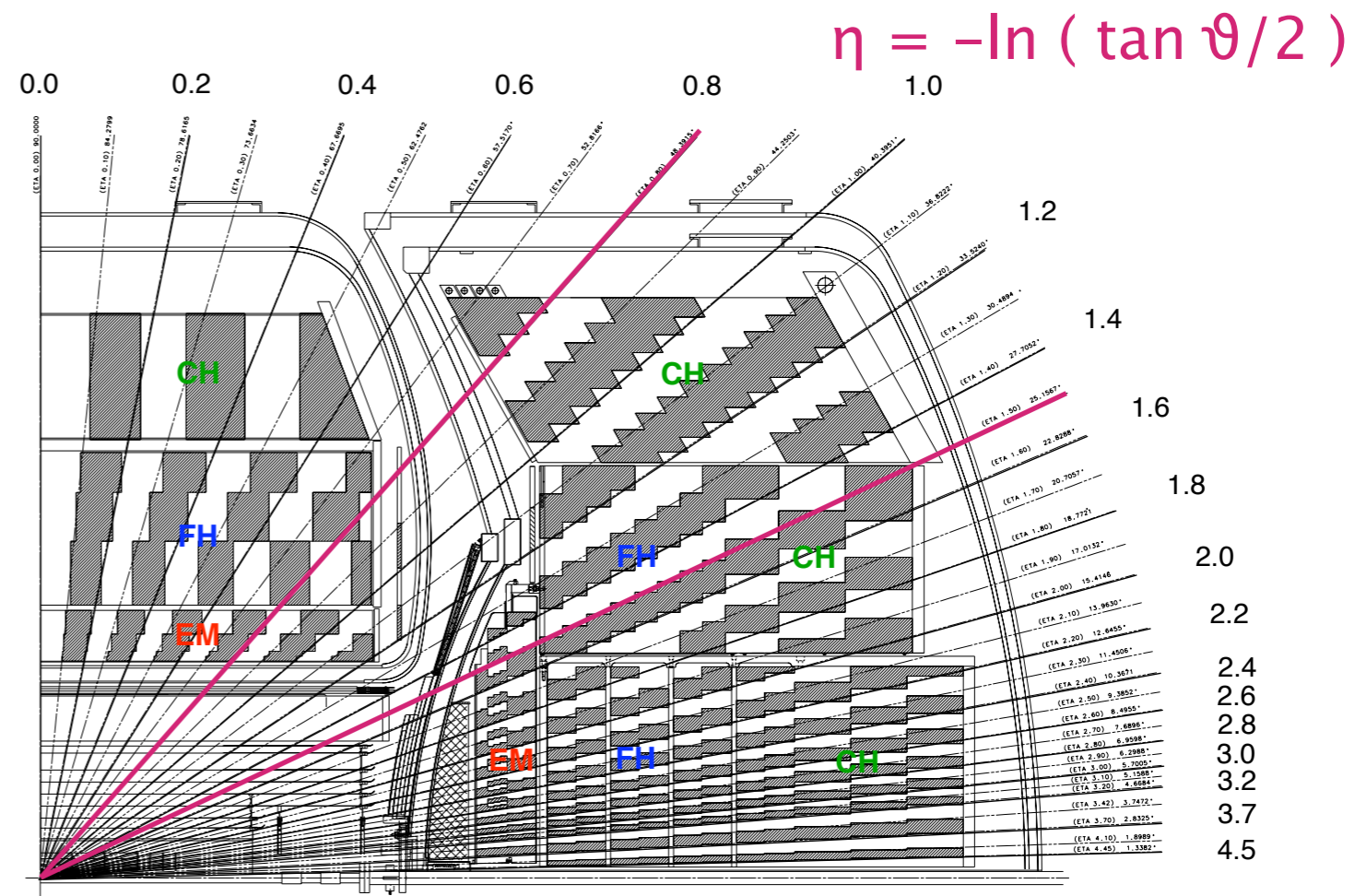
- formé d'une partie centrale et de 2 bouchons, bonne herméticité, uniformité et couverture $|\eta| < 4.5$

- Structure en tours

- granularité fine: $\Delta\phi \times \Delta\eta = 0.1 \times 0.1$

- compensation: $e/\pi \sim 1$

- région inter-cryostat:
~ $0.8 < |\eta| < 1.5$



- 3 couches : EM, FH, CH

- bonne résolution: EM

$$\frac{\sigma_E}{E} = 0.007 \oplus \frac{0.204}{\sqrt{E}} \oplus \frac{0.16}{E}$$

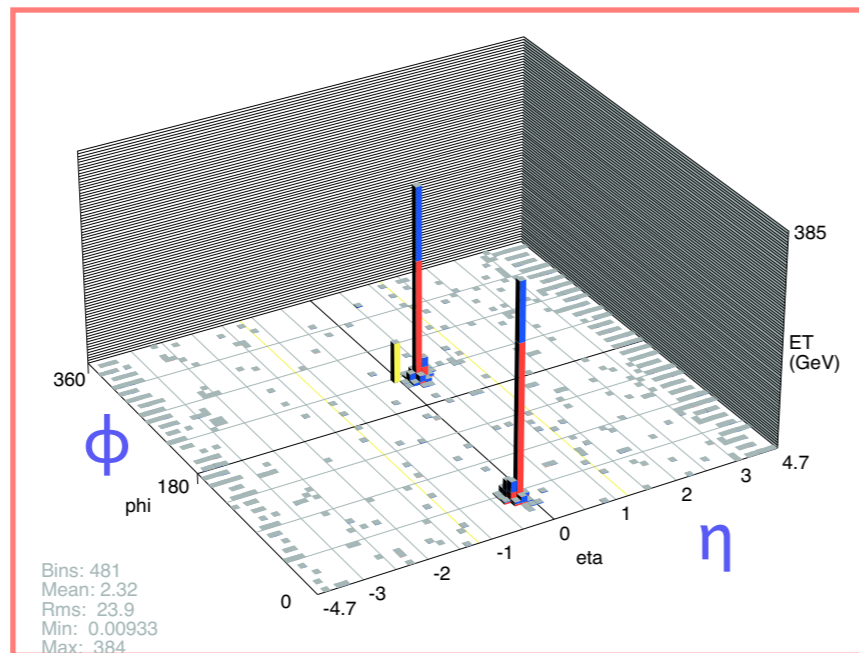
Détection des jets, électrons, photons

Les jets dans le détecteur

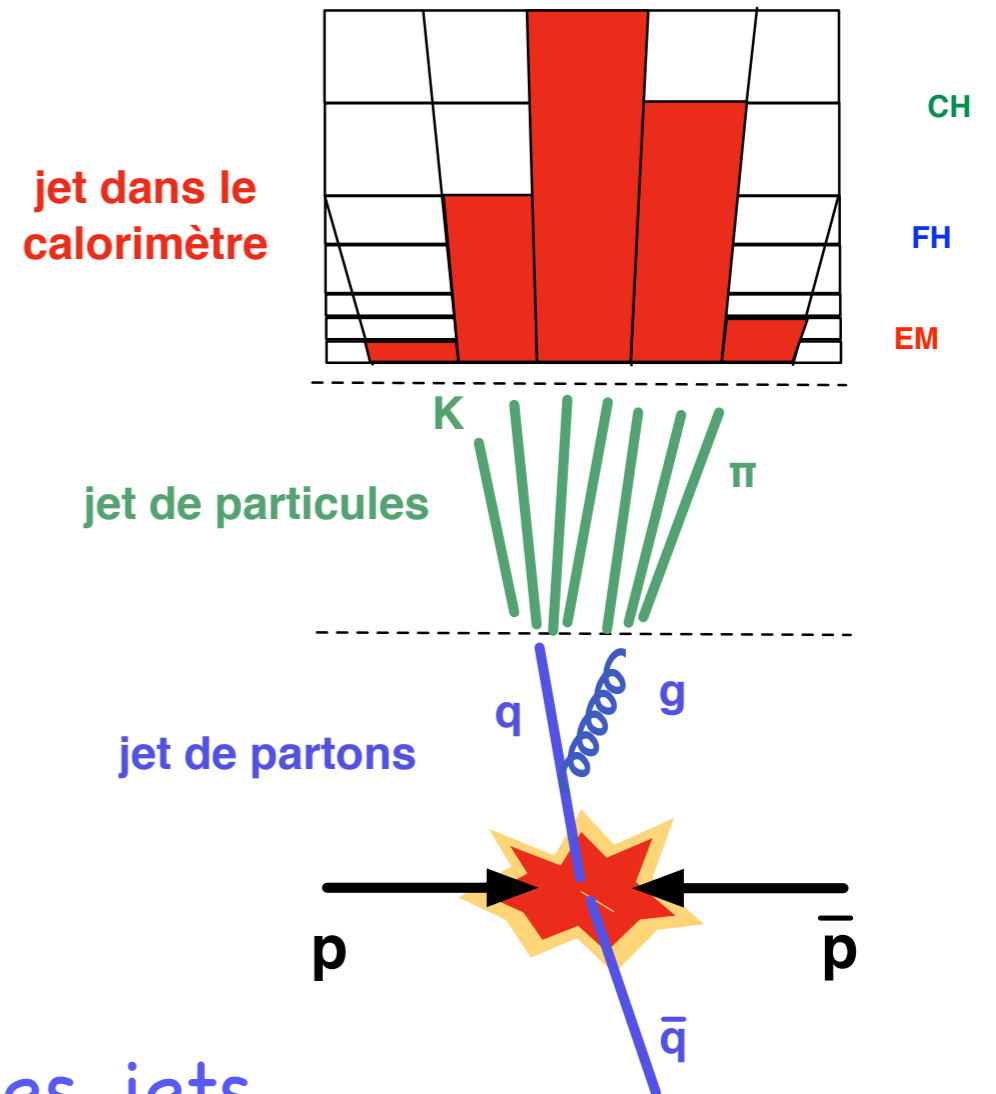
- ◆ Signature expérimentale des partons émis lors d'une interaction de haute énergie

- ◆ Définition à 3 niveaux:

- émission des partons
- fragmentation, formation de hadrons (π, K)
- dépôt d'énergie dans le calorimètre, mesuré dans les tours



- ◆ Algorithme du cône : reconstruction des jets
- ◆ Correction de l'énergie des jets



L'algorithme du cône du Run II

c'est la rapidité y qui est utilisée
et non la pseudo-rapidity η

- ◆ algorithme itératif

- ◆ cône de taille fixe $R=0.7$ dans l'espace (y,ϕ)

$$R = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta \Phi^2}$$

- ◆ points de départ : direction des tours dont $E_T > 0.5$ GeV

- ◆ additionne les tours (quadri-vecteurs) dans le cône autour de cette direction:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{E}, \vec{\mathbf{p}}) = \sum_i (\mathbf{E}^i, p_x^i, p_y^i, p_z^i)$$

- ◆ recalcule la direction

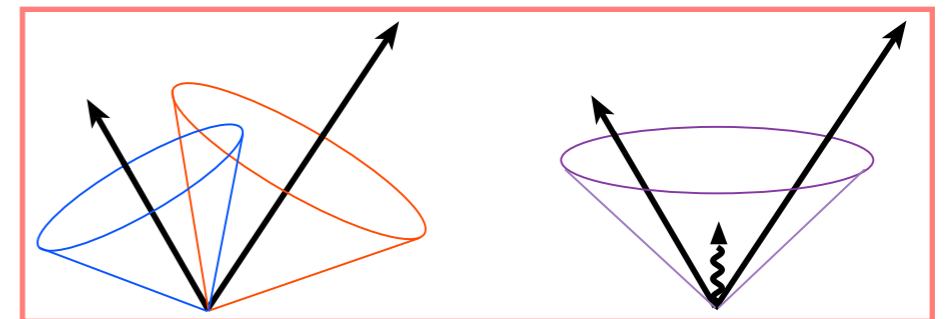
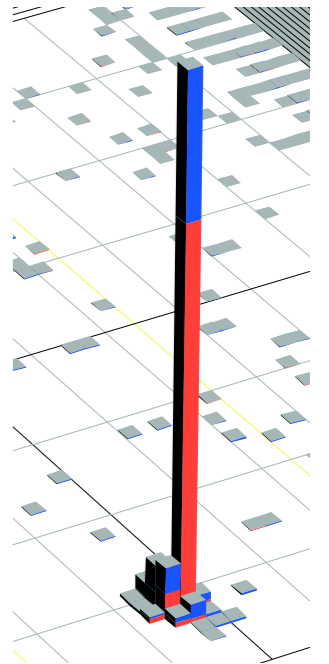
$$y = \frac{\mathbf{E} + p_z}{\mathbf{E} - p_z}$$

- ◆ réitère jusqu'à convergence

- ◆ utilise les "midpoints" comme points de départ supplémentaires

→ insensibilité à l'émission de gluon soft

- ◆ fusion/séparation des jets si superposition (>50%)



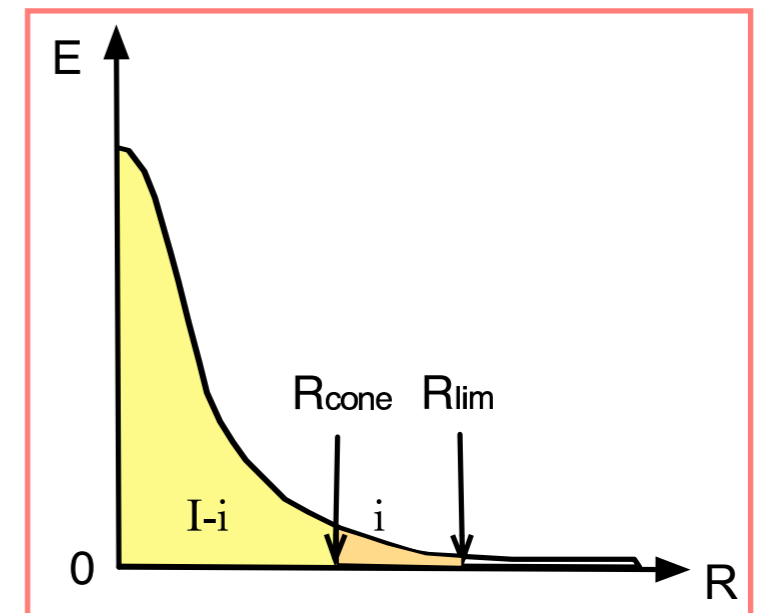
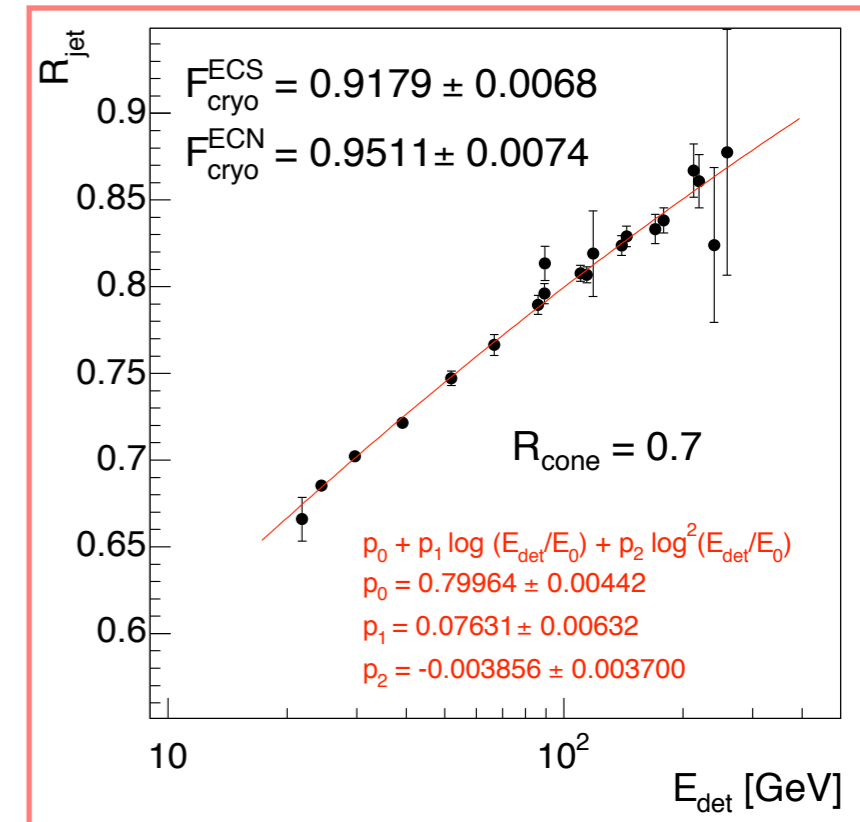
Correction de l'énergie des jets

- ◆ correction entre l'énergie reconstruite dans le détecteur et l'énergie des particules entrant dans celui-ci

$$E_{\text{ptcl}} = (E_{\text{det}} - O) / R_{\text{jet}} \cdot S$$

- ◆ **O offset** : corrige l'énergie déposée dans le cône qui ne provient pas de l'interaction ppbar
 - mesuré par la densité d'énergie transverse moyenne dans événements sans processus physique dur
- ◆ **Rjet réponse** : corrige la réponse du calorimètre aux particules formant le jet
 - mesuré par l'équilibre de l'énergie transverse dans évts γ +jet
- ◆ **S showering** : corrige de l'énergie dissipée hors du cône du jet lors du développement de la gerbe

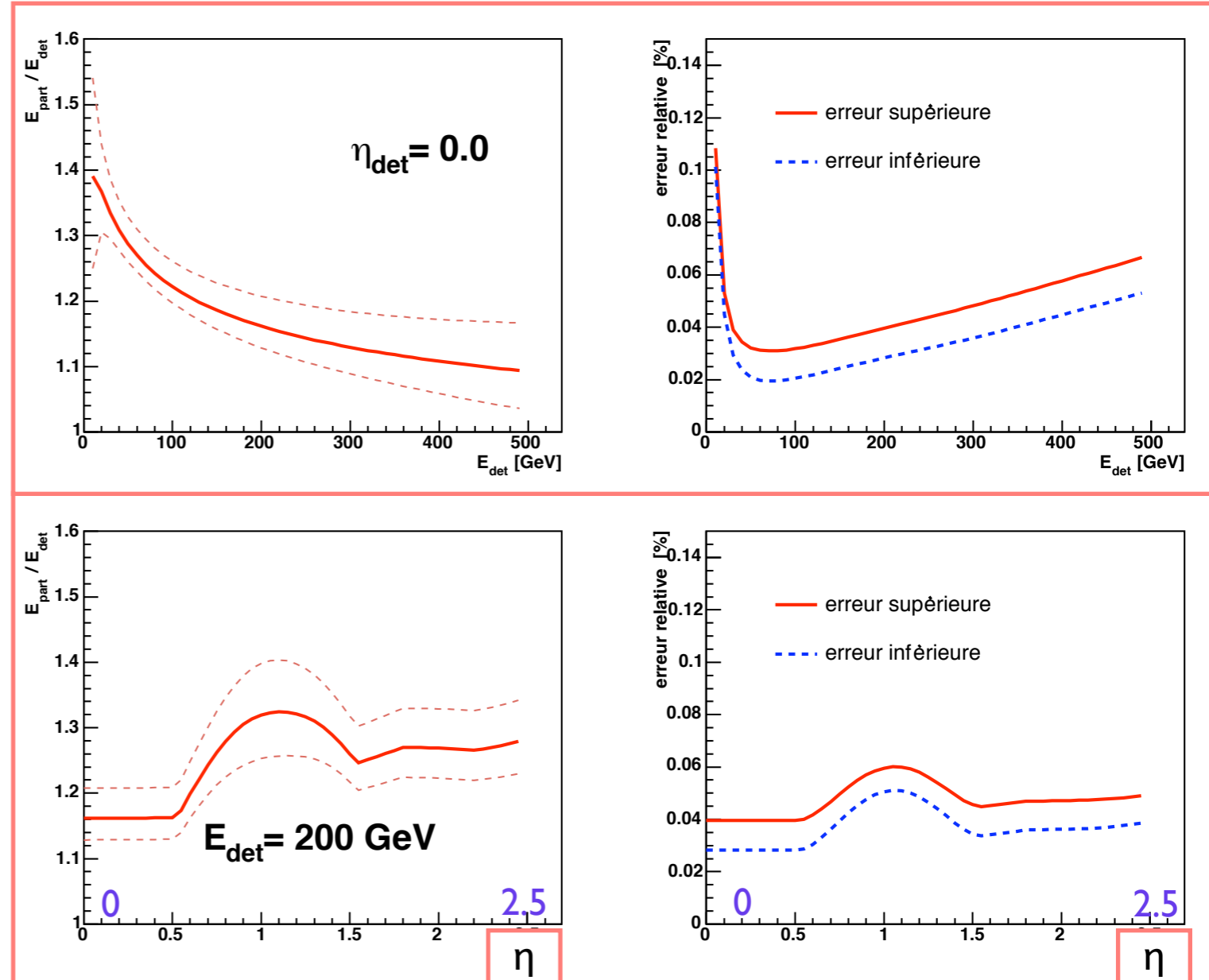
R_{jet}



Jet Energy scale (JES)

$E_{\text{part}} / E_{\text{det}}$

- ◆ Correction en énergie des jets en fonction de η et p_T
- ◆ section efficace p_T : 80–600 GeV ; η : 0–2.4
- ◆ Région particulière : l'inter-cryostat ICR



Mesure de la section efficace inclusive des jets

- Intérêt de la mesure : PDF , NP
- Etapes de la mesure
- Comparaison avec la théorie

Intérêt de la mesure

- ◆ Section efficace \Leftrightarrow taux de production
- ◆ grandeur observable permettant de tester la théorie QCD
- ◆ Section efficace inclusive : au - 1 jet dans l'état final

◆ Se calcule :
$$\sigma(p\bar{p} \rightarrow \text{jet} + \mathbf{X}) = \sum_{a,b,c} \int_0^1 \int_0^1 f_{a/p}(x_p) \hat{\sigma}(ab \rightarrow c + \mathbf{X}) f_{b/\bar{p}}(x_{\bar{p}}) dx_p dx_{\bar{p}}$$

a,b,c parmi $u,d,s,g,u\dots$

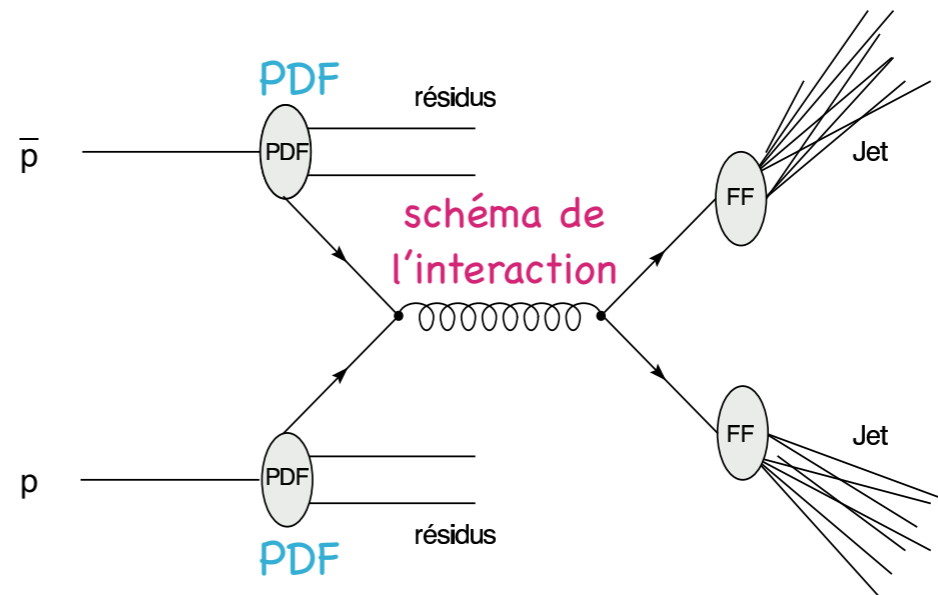
densité de partons dans p
(mesurable)

section efficace du sous-processus
(calculable en pQCD)

- ◆ Permet de tester les PDFs

PDF : fonction de distribution des partons (q, \bar{q}, g)

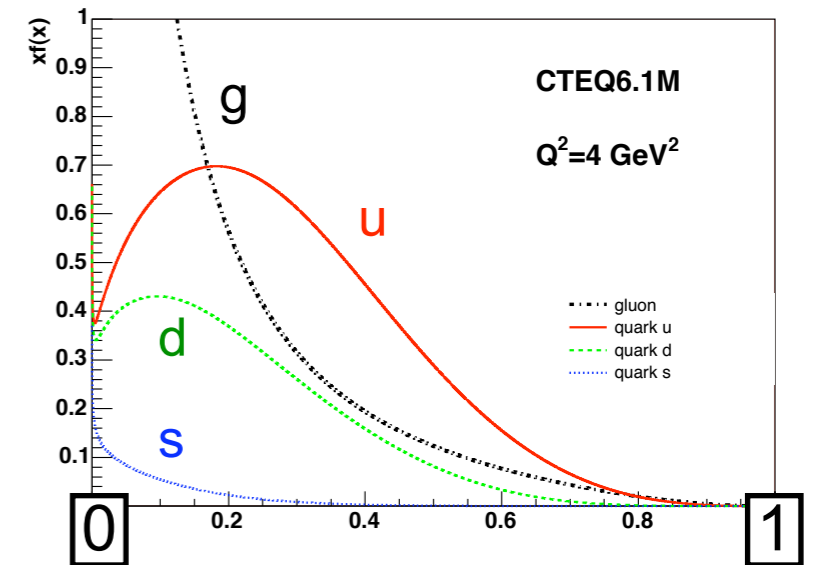
$\Leftrightarrow f_{a/p}(x_p)$



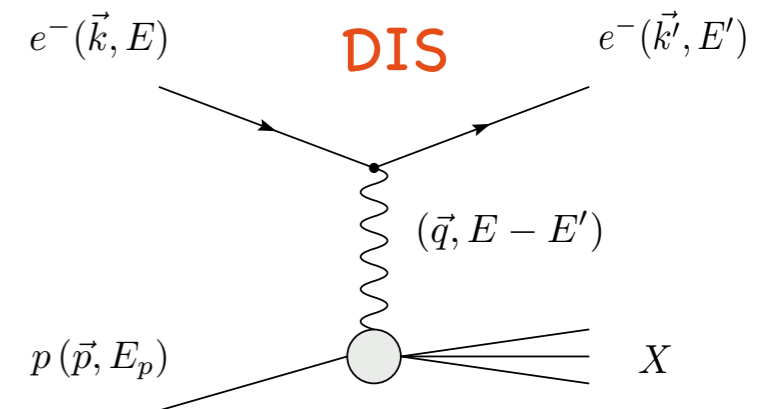
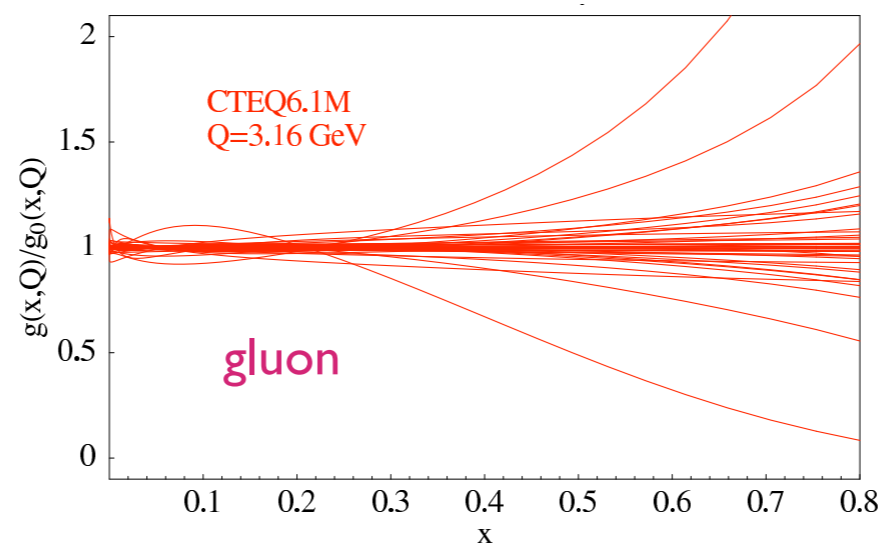
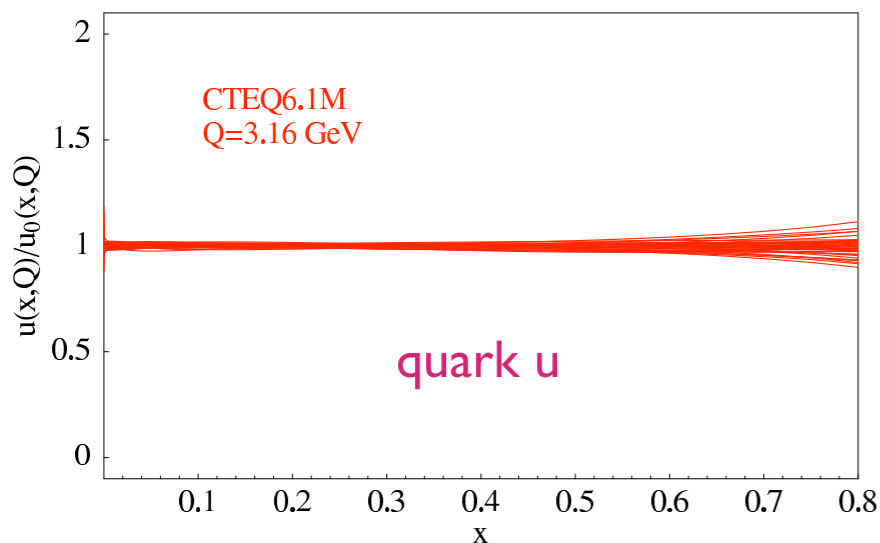
Les PDF

Fonctions de Distribution des Partons

- ◆ PDF \Leftrightarrow probabilité d'interagir avec un parton i portant une fraction d'impulsion x du proton
- ◆ Détermination expérimentale par des analyses globales de différentes expériences
- ◆ surtout DIS diffusion profondément inélastique
- ◆ reste des incertitudes importantes sur PDF du gluon à grand x

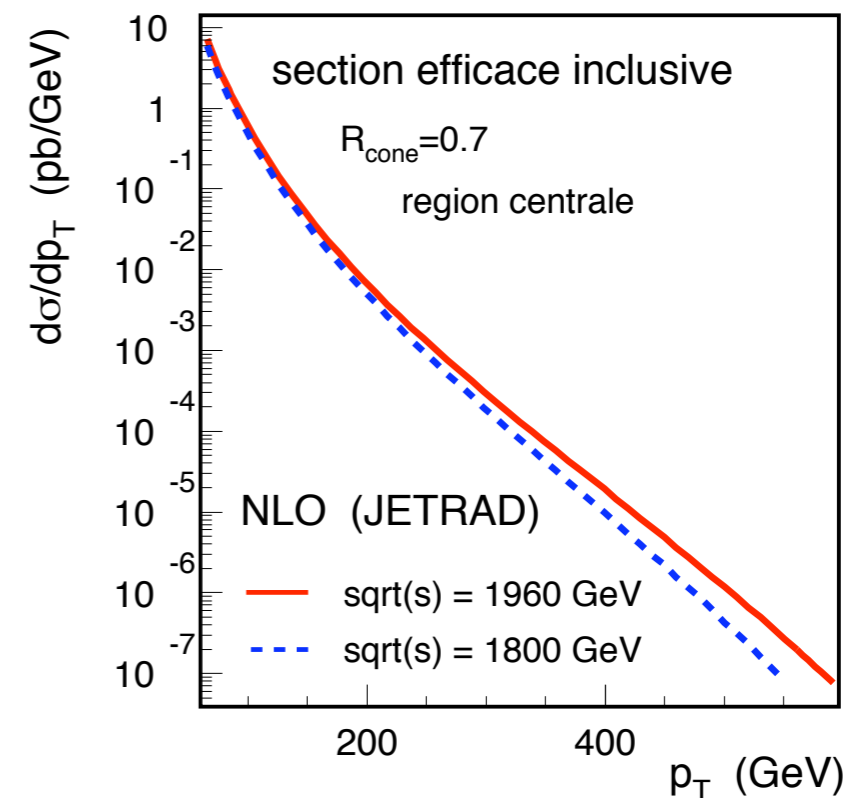
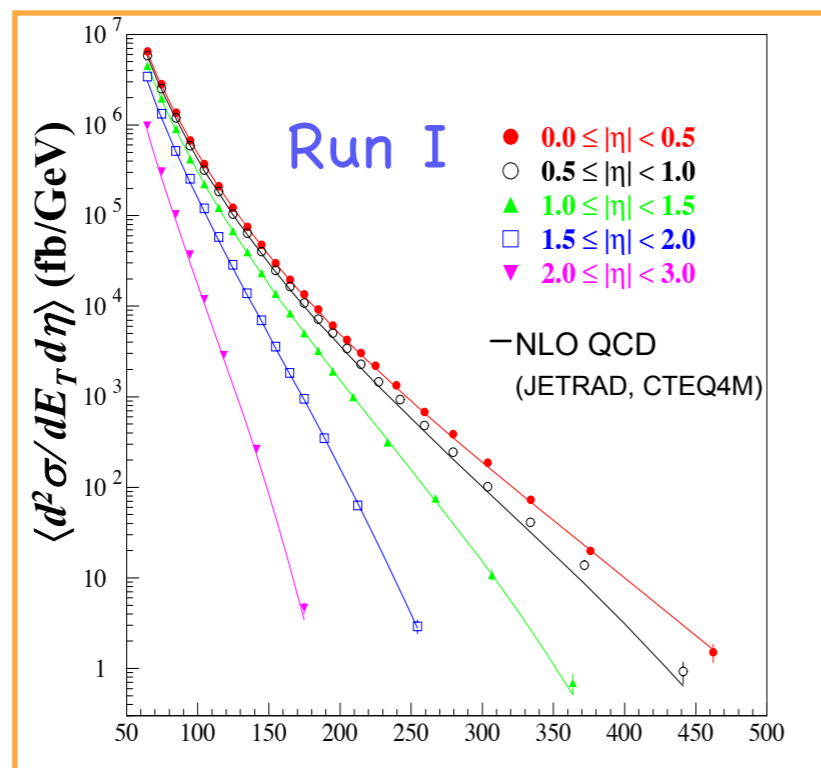


incertitudes des PDFs :



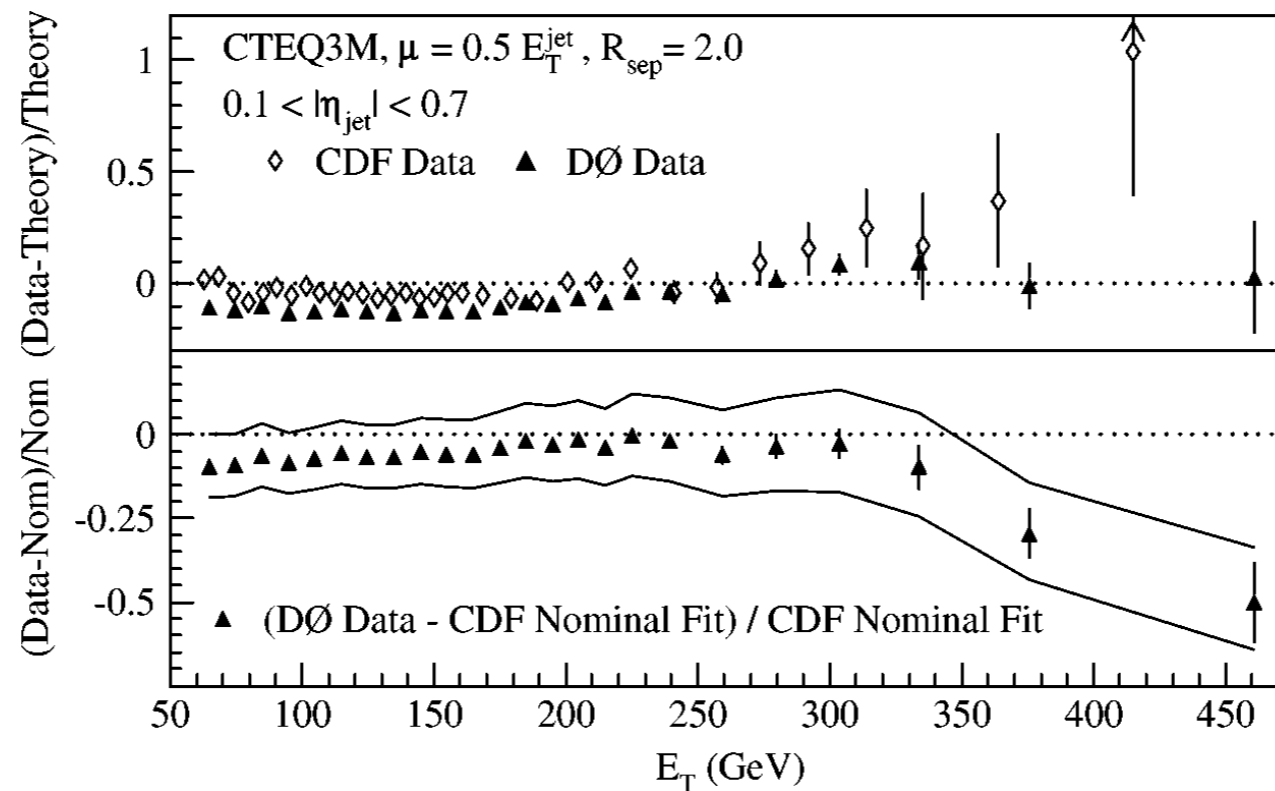
Intérêt de la mesure au Run II

- ◆ Sensibilité de la section efficace à la PDF du gluon à grand x , surtout à grand p_T et grande rapidité
- ◆ Intérêt de mesurer la section efficace dans ces domaines
- ◆ Run II :
 - augmentation de l'énergie → augmentation de la section efficace, surtout à grande impulsion transverse
 - augmentation de la luminosité



Intérêt de la mesure II

- ◆ Excès à grand p_T pourraient également être dus à une sous-structure des quarks ou des effets **au-delà du Modèle Standard**
- ◆ Au Run I, la mesure de CDF montre un excès notable contrairement à celle de DØ, excès expliqué en partie par l'augmentation de la PDF du gluon à grand x



Section efficace inclusive des jets

Formule principale :

$$\left\langle \frac{d\sigma}{dp_T dy} \right\rangle = \frac{N_{\text{jet}}}{\mathcal{L}} \frac{1}{\epsilon_{\text{eff}}} C_{\text{unsm}} \frac{1}{\Delta p_T \Delta y}$$

N_{jet} nombre de jets après toutes les coupures

L luminosité

ε_{eff} produit des efficacités sur les coupures de sélection des événements et des jets

C_{unsm} correction due à l'unsmearing (résolution en p_T)

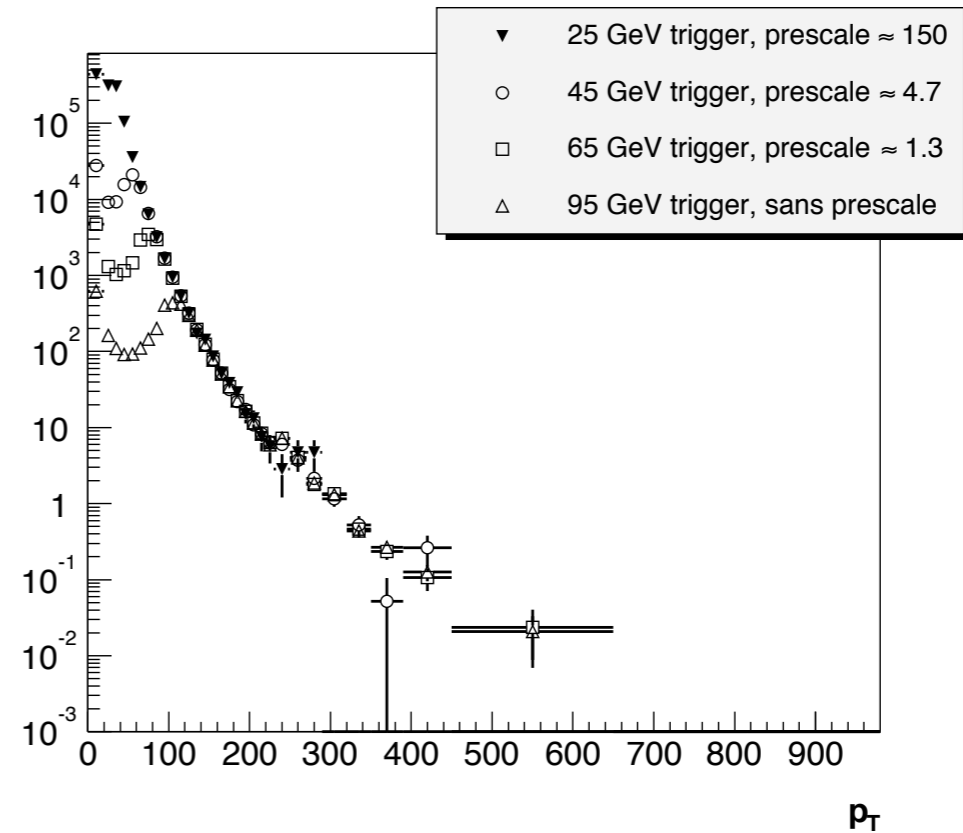
Δp_T largeur du bin en p_T

Δy largeur du bin en rapidité, égale à 0.4

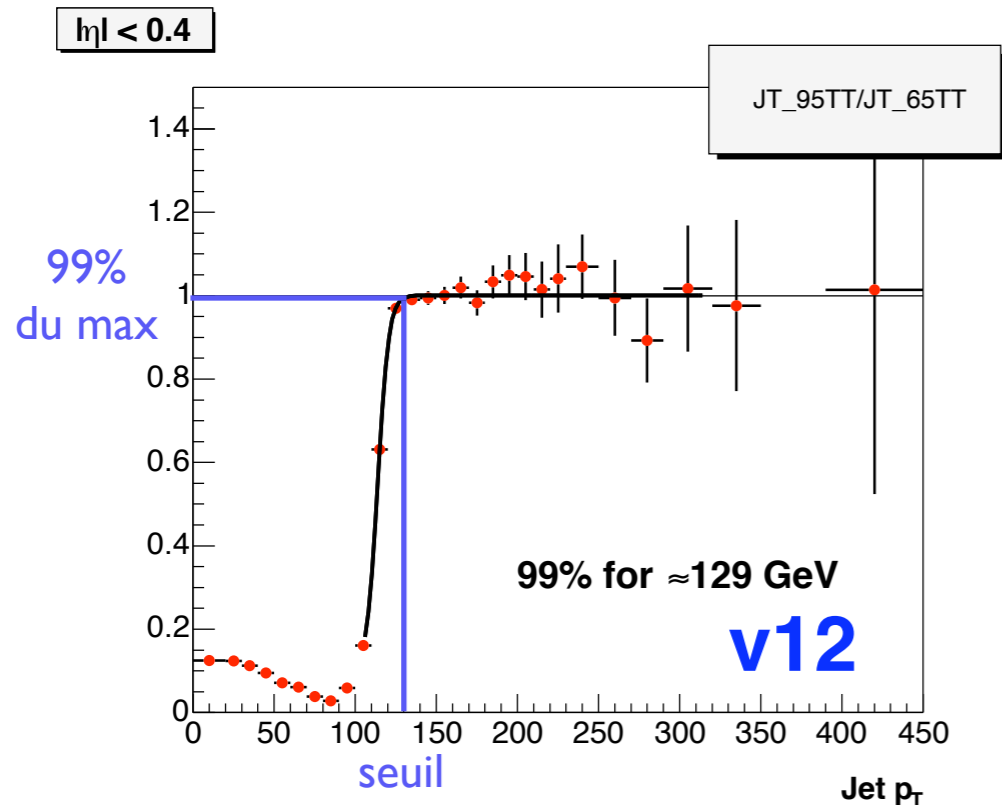
Triggers et leur efficacité

Section efficace brute :
 $N_{jet}/Lumi$

4 triggers avec des seuils
de 25, 45, 65 et 95 GeV



JT_95TT

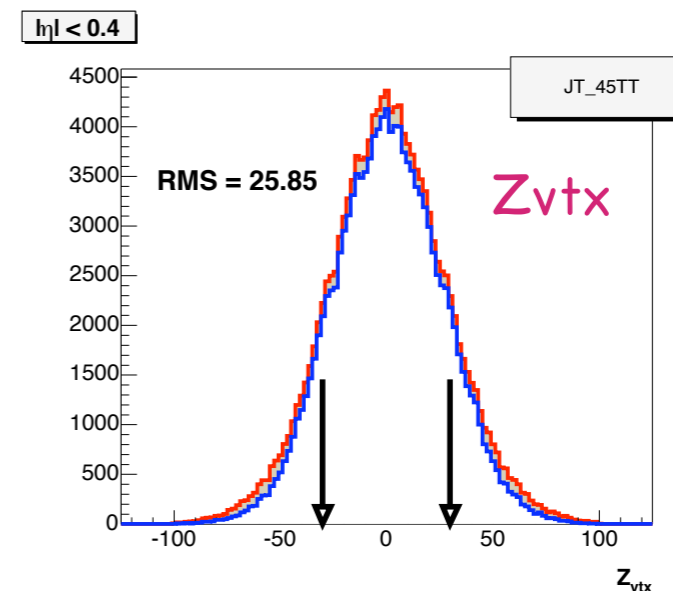
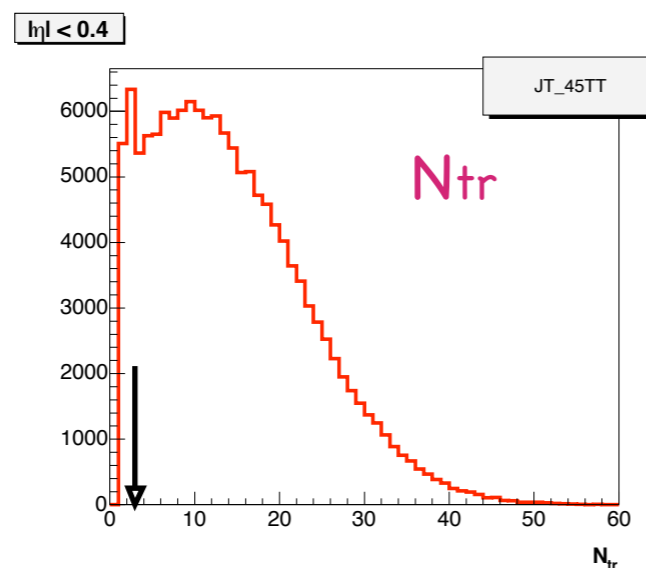


- ◆ Détermination des "seuils d'efficacité" des triggers
- ◆ Trigger 65 GeV efficace avant celui de 95 GeV
- ◆ rapport du nombre de jets des 2 triggers en fonction $p_T \Leftrightarrow$ courbe de **turn-on**
- ◆ seuil d'efficacité : **99%** du maximum de la courbe, obtenu par ajustement

Sélections des événements

Coupures de sélection des événements :

- ◆ au - 1 vertex primaire, avec 3 traces pointant vers celui-ci
 - pour s'assurer de la bonne qualité de celui-ci
- ◆ $|Z_{\text{vtx}}| < 30$ cm
 - vertex proche centre du détecteur, meilleure reconstruction
- ◆ $\text{MET} < 0.7 p_T$ du jet principal
 - pour éliminer les événements cosmiques de signature semblable à un jet, avec une grande MET



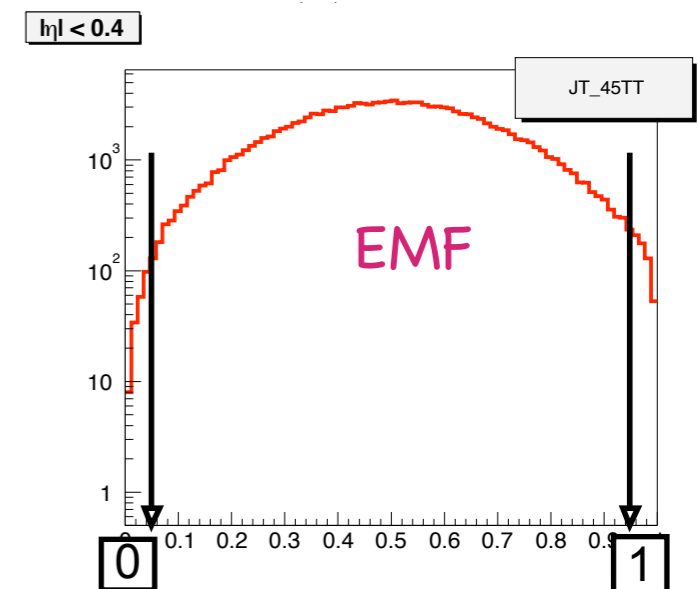
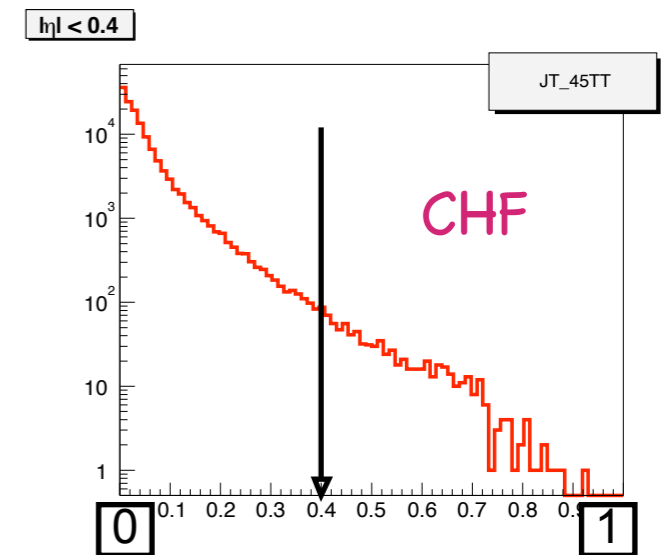
Sélection des jets

Coupures de sélection des jets :

- ◆ Fraction hadronique extérieure CHF : $CHF < 0.4$
 - effets de cellules chaude, couche bruyante
- ◆ Fraction électromagnétique EMF : $0.05 < EMF < 0.95$
 - $EMF < 0.95$, rejette objets EM reconstruits par l'algorithme
- ◆ Confirmation au niveau L1 :
 - confirmation de l'existence du jet au niveau L1 du trigger, en évaluant la concentration de l'énergie du jet

Efficacité des coupures de l'ordre de 98%

échelles logarithmiques

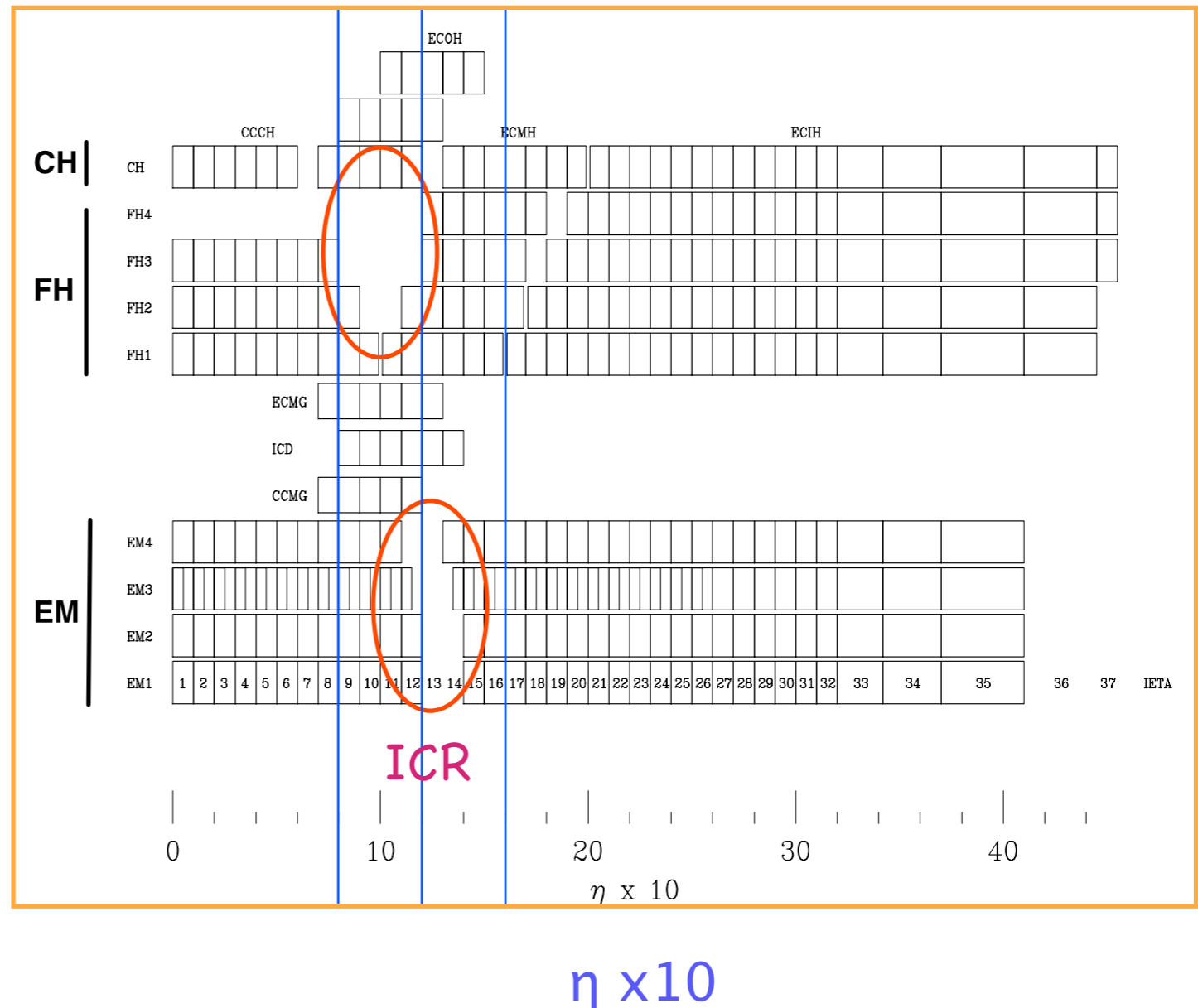


Région Inter-Cryostat

$$0.8 < |\eta| < 1.5$$

Coupures sur CHF et EMF ne peuvent pas être appliquées dans cette région (géométrie différente)

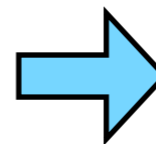
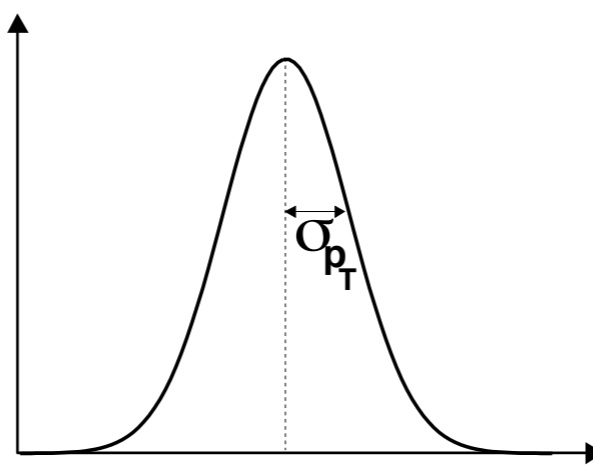
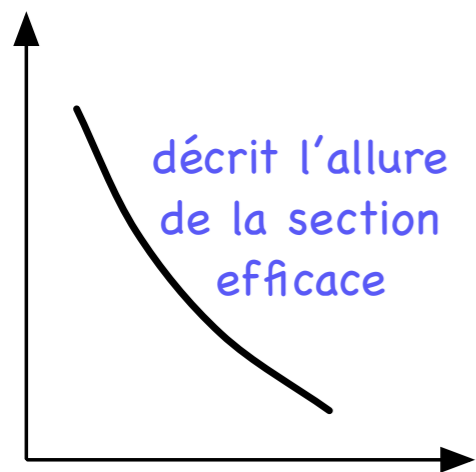
→ La section efficace n'est pas mesurée dans cette région



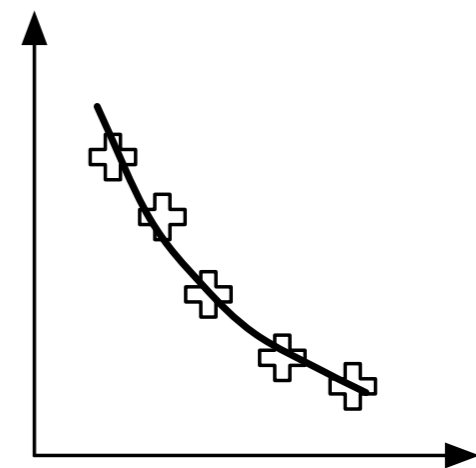
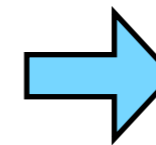
Déconvolution de la résolution

- ◆ corrige la section efficace mesurée de l'effet du détecteur :
résolution en p_T , résolutions en η et ϕ négligées
 - pour passer de la distribution mesurée à la distribution originelle, et la comparer aux prédictions théoriques
- ◆ pas d'utilisation de Monte-Carlo, mais d'une fonction "Ansatz" décrivant l'allure de la section efficace
- ◆ Méthode :

fonction Ansatz convoluée par une gaussienne d'écart-type égal à la résolution en p_T



puis ajustée aux données



$$F_{ansatz} = (\alpha + \beta p_T^{-\gamma}) e^{-\delta p_T}$$

par intervalle de p_T :

$$C_{unsm} = \frac{F_{Ansatz} \text{ convoluée}}{F_{Ansatz}}$$

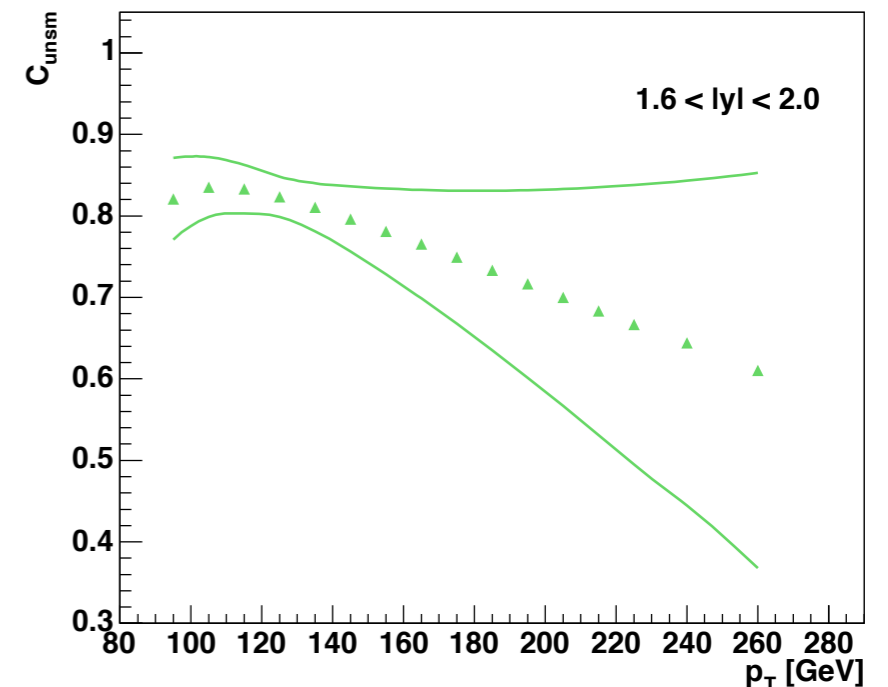
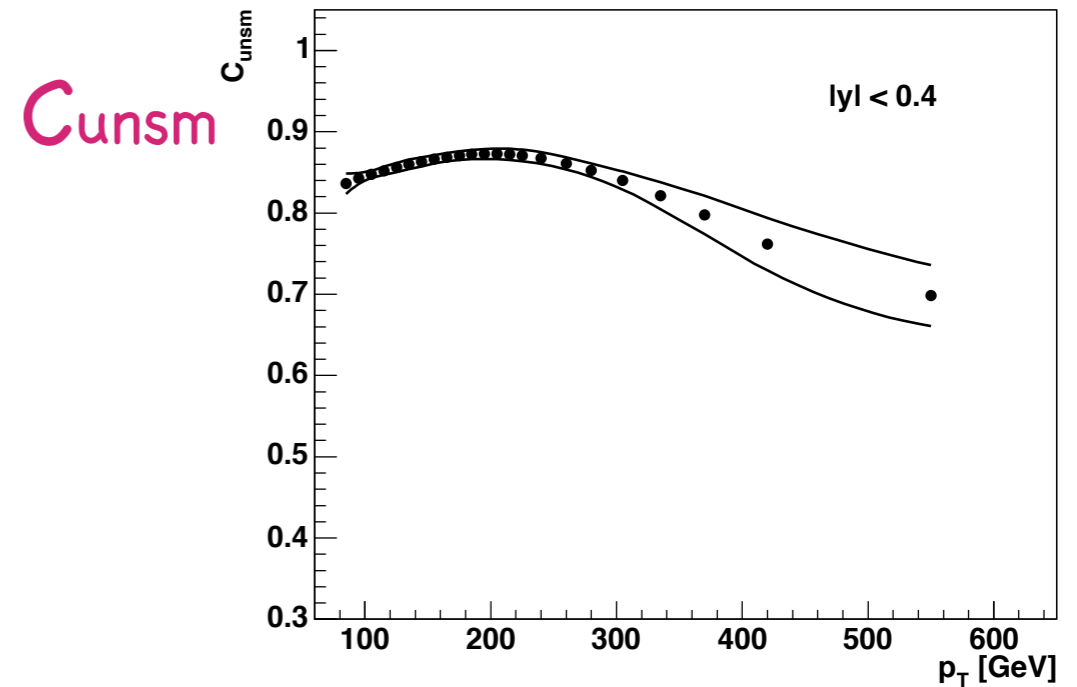
Déconvolution de la résolution

- ◆ Coefficient de correction :

$$C_{unsm} = \frac{F_{Ansatz \text{ convoluée}}}{F_{Ansatz}}$$

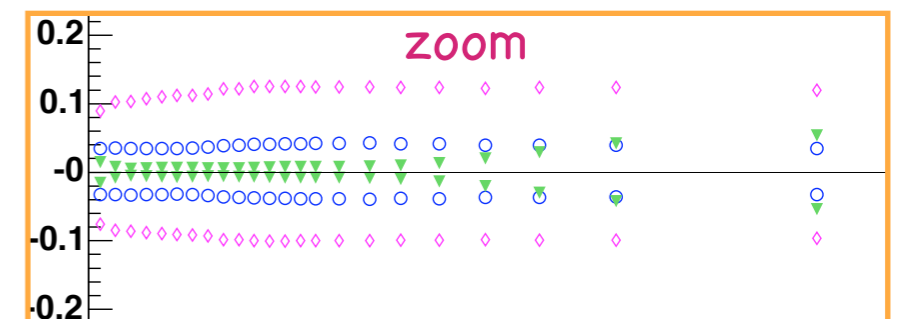
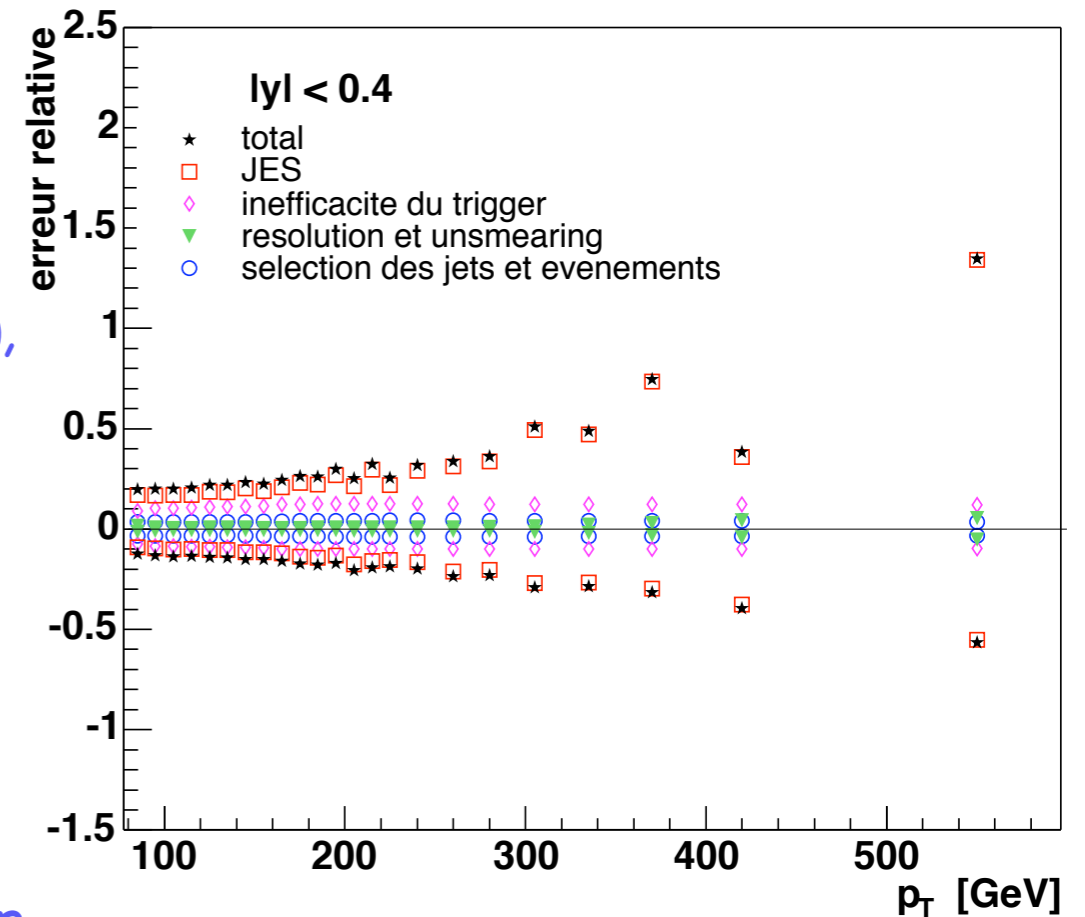
- ◆ Erreurs systématiques estimées en utilisant :

- plusieurs fonctions Ansatz
- différentes résolutions (effets de la coupure sur la position du vertex, de la position des 2 jets)



Erreurs systématiques

- ◆ Erreurs systématiques prises en compte :
 - incertitudes sur la correction de l'énergie des jets (JES), **erreur dominante** (surtout à grande rapidité)
 - incertitudes sur l'**efficacité des triggers**
 - incertitudes sur la **résolution en pT** et la **déconvolution**
 - incertitudes sur les **efficacités** dues aux coupures de **sélection des événements** et des jets
- ◆ Section efficace recalculée pour chaque correction majorée de ses erreurs
- incertitudes sur la détermination de la **luminosité** : 6.5%

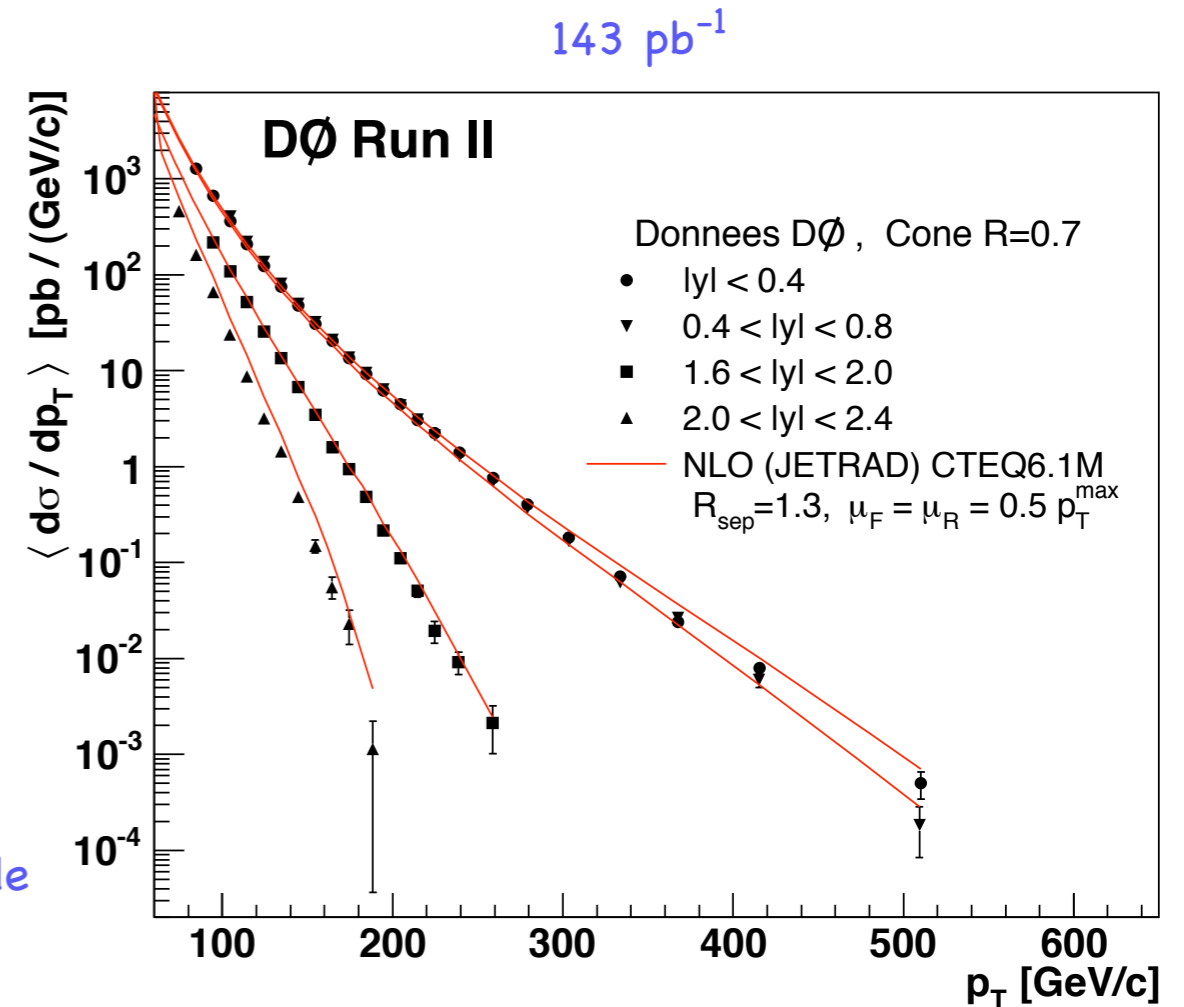


Résultats

◆ prédictions NLO

- prédictions théoriques calculées au NLO avec NLOJET++
- il génère des évts avec des partons dans l'état final
- en utilisant la paramétrisation CTEQ6.1M des fonctions de structure
- paramètre $R_{sep}=1.3$, fusion au niveau des partons $R_{1,2} < R_{sep} \cdot R_{cone} \rightarrow$ un seul jet
- échelle de renormalisation et factorisation :
 $\mu_r = \mu_f = E_T^{max} / 2$

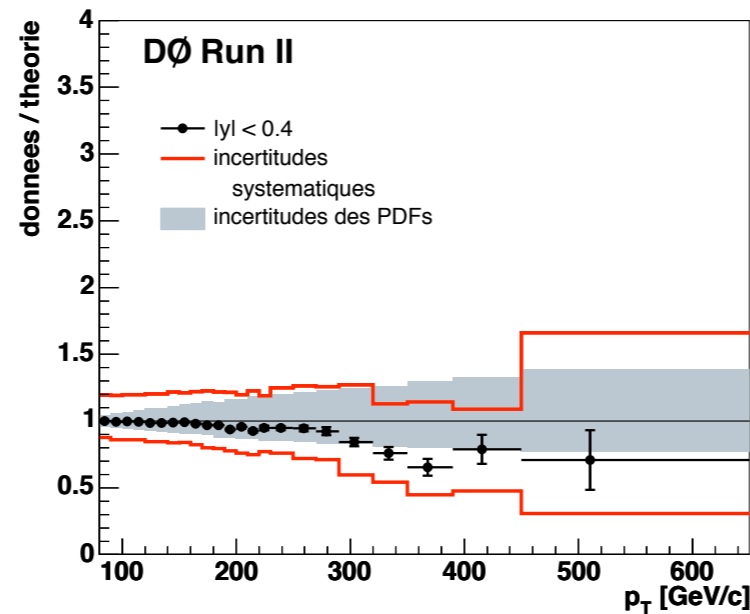
◆ résultat des intervalles centraux très proches



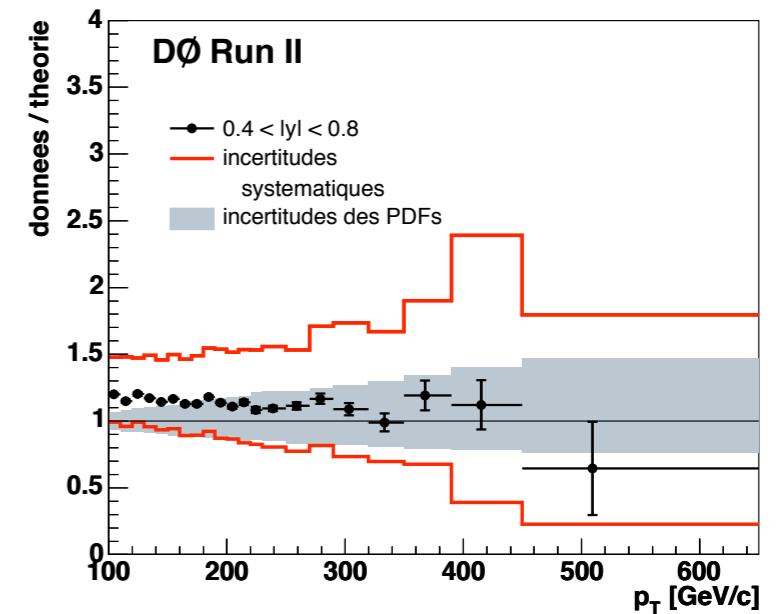
Comparaison avec la théorie

Rapport données / théorie

$$|y| < 0.4$$

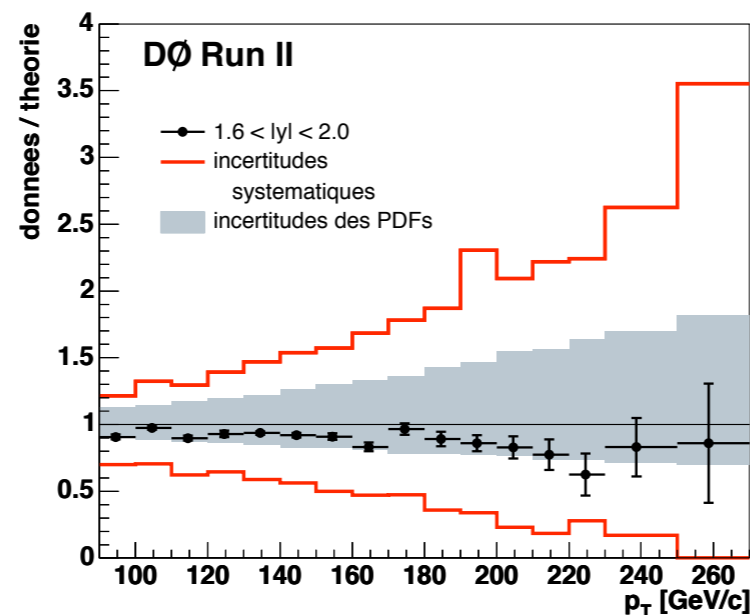


$$0.4 < |y| < 0.8$$

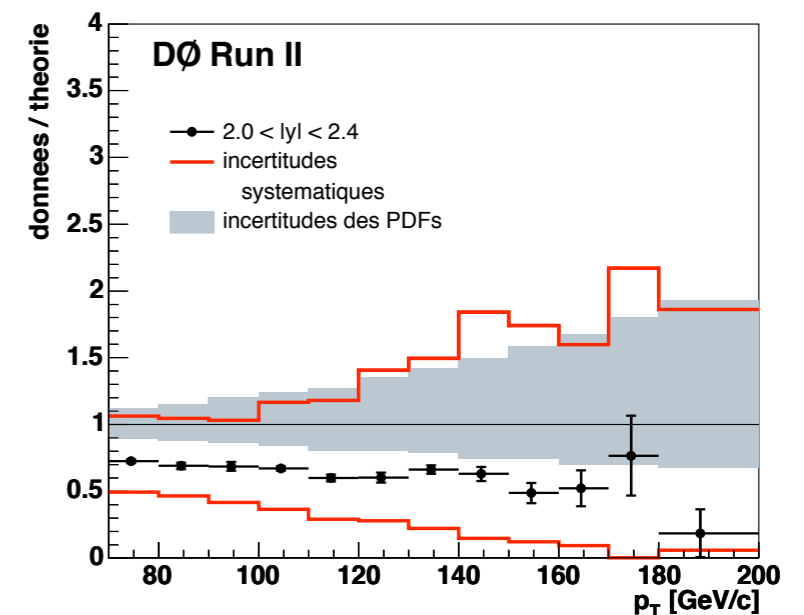


bon accord, mais erreurs expérimentales encore trop grandes pour apporter des contraintes sur les PDF

$$1.6 < |y| < 2.0$$



$$2.0 < |y| < 2.4$$

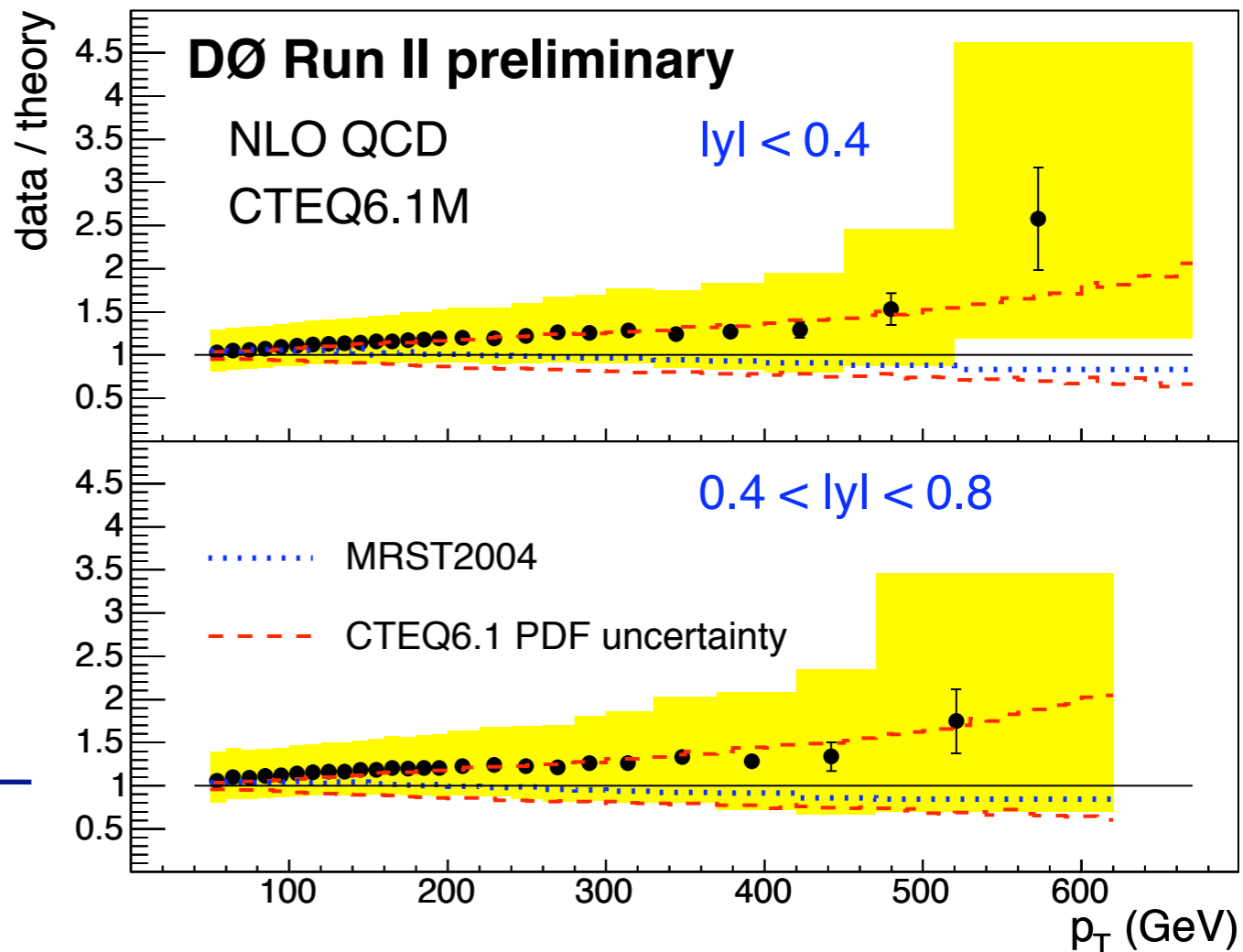


Résultat Moriond 05

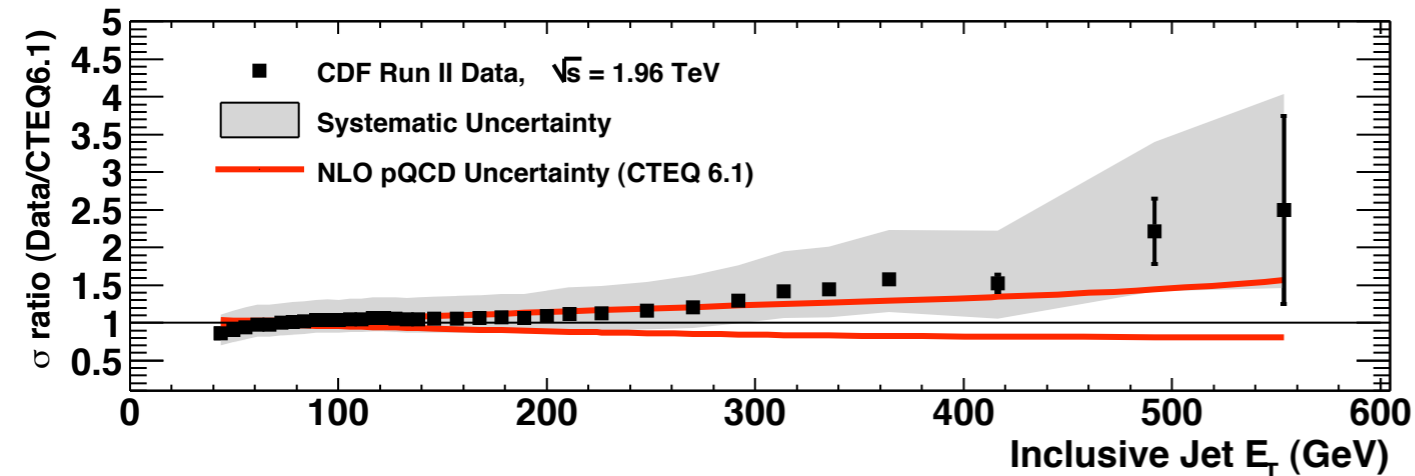
Rapport données / théorie

- ◆ 380 pb⁻¹
- ◆ Nouvelle version JES (plus juste, mais erreur plus grandes)
- ◆ Prise en compte de la variation de la largeur de la distribution z du vertex en fonction de la luminosité instantannée

○ Résultats CDF Moriond 04



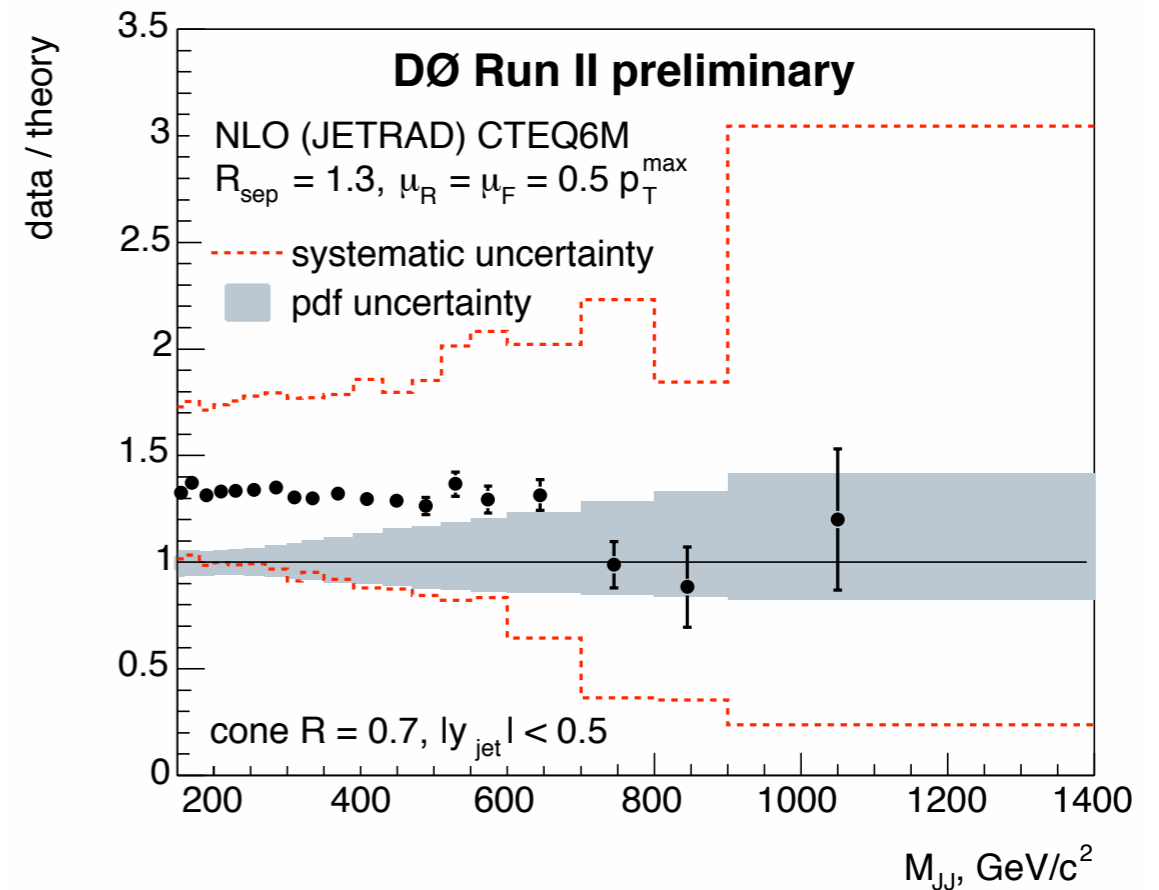
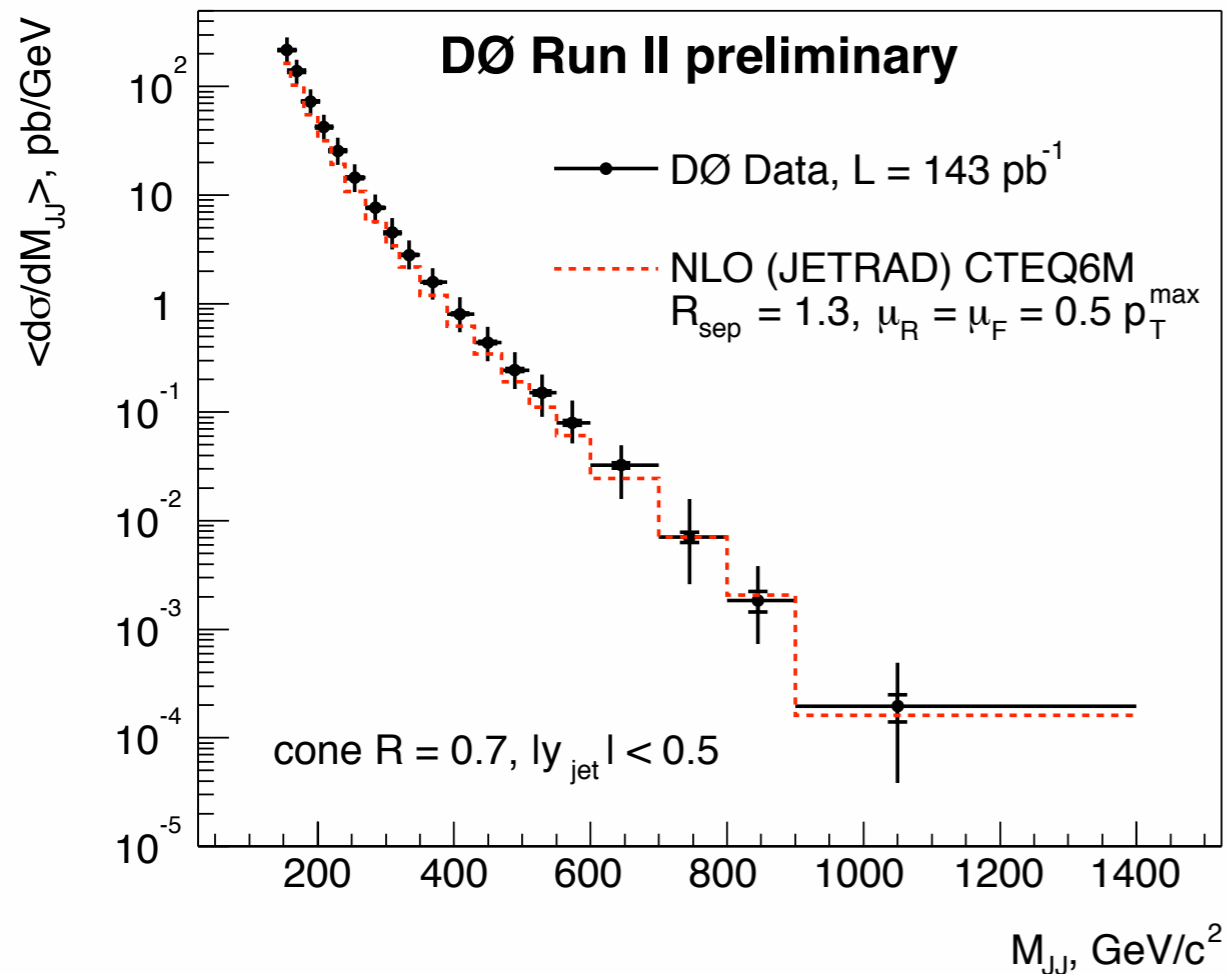
177 pb⁻¹ , $0.1 < |\eta| < 0.7$



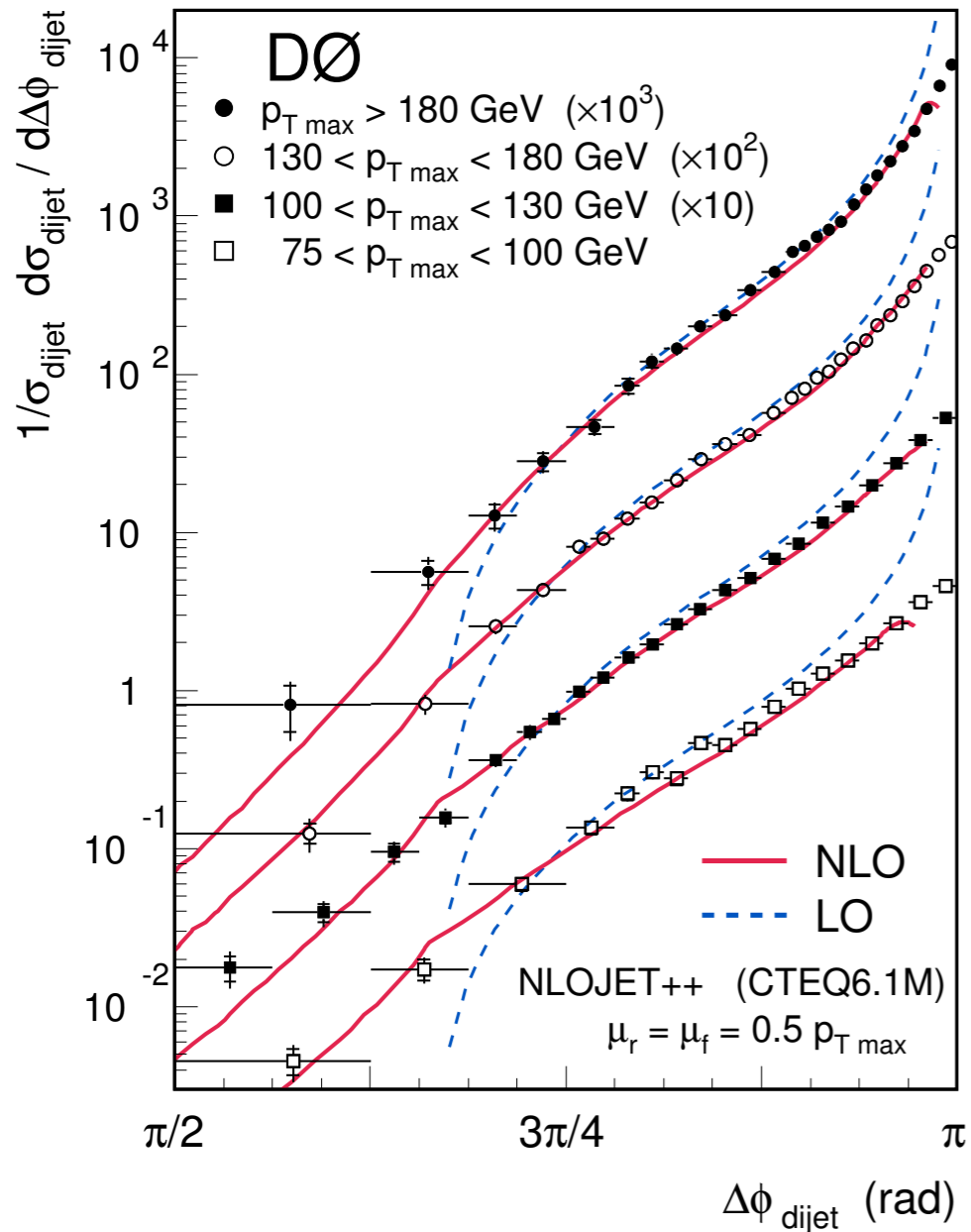
Les autres sections efficaces

- Le spectre en masse des dijets
- La décorrélation en $\Delta\phi$ (entre les jets)

Spectre en masse des dijets



- région centrale $|y| < 0.5$, $\sim 143 \text{ pb}^{-1}$ de données
- accord avec les prédictions NLO au vu des incertitudes
- JES est la principale source d'erreur systématique

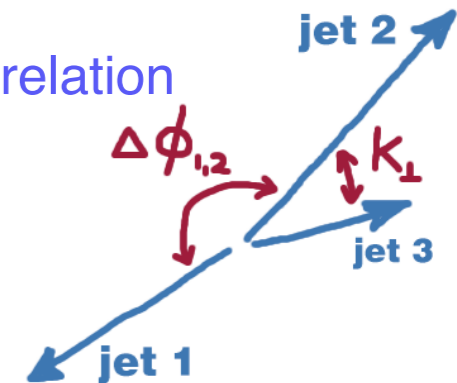


sensibilité réduite à JES

- production de 3 jets au NLO pQCD:

- radiation soft \rightarrow petite décorrélation $\Delta\phi_{1,2} \sim \pi$ (divergence au LO)

- radiation hard (grand k_T) \rightarrow grande décorrélation $\Delta\phi_{1,2} < \pi$



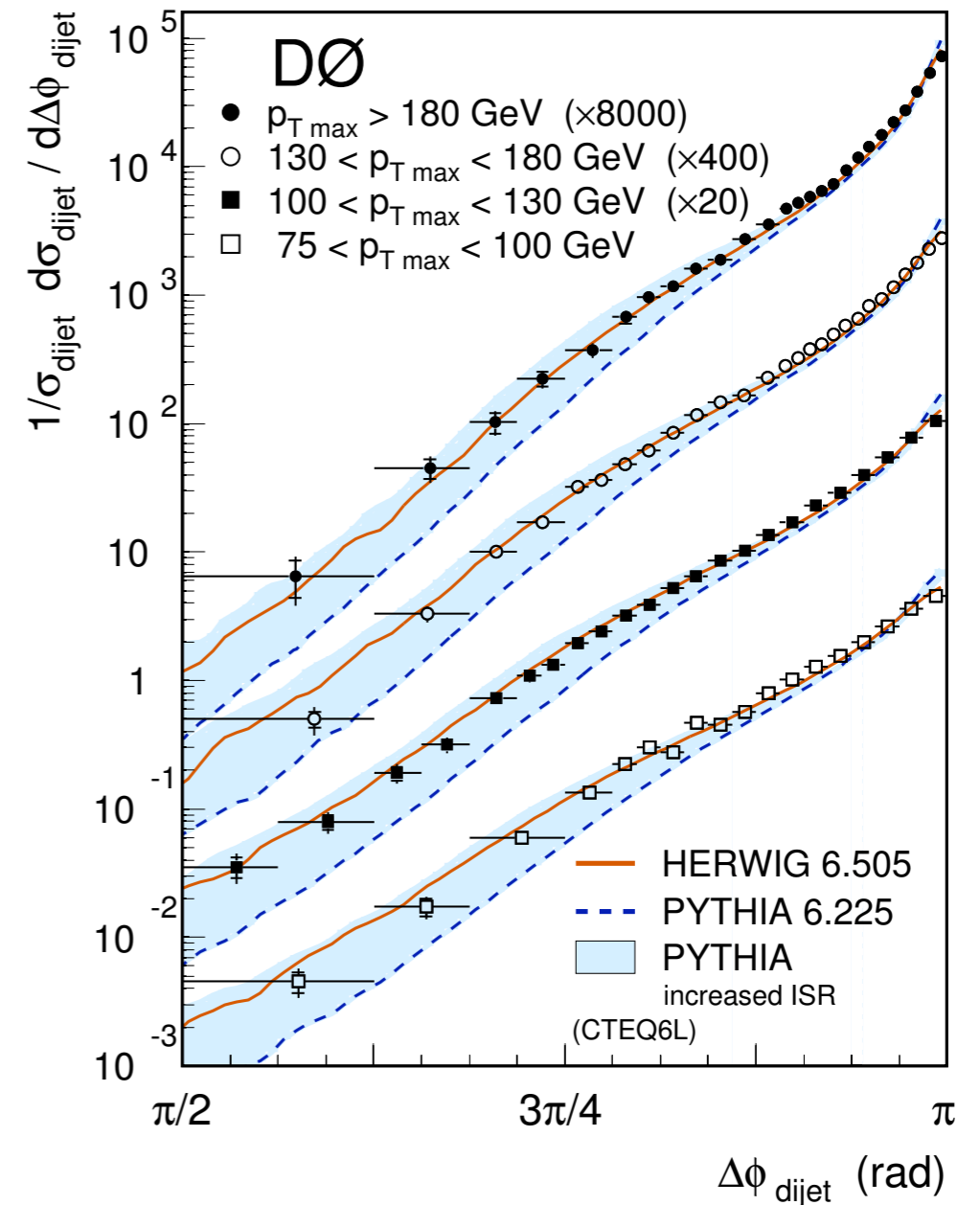
\rightarrow distribution $\Delta\phi$ est sensible au ordre élevés de radiation, sans mesurer explicitement le 3^e ou 4^e jet

- Observable: $\frac{1}{\sigma_{\text{dijet}}} \cdot \frac{d\sigma_{\text{dijet}}}{d\Delta\phi_{\text{dijet}}}$ section efficace différentielle normalisée

- 4 bins en p_T du leading jet, pour les jets centraux $|y| < 0.5$

Décorrélation en $\Delta\phi$

- $2 \rightarrow 2$ LO pQCD, teste processus de radiation:
 - 3^e ou 4^e jets générés par gerbe de partons (phénoménologique)
- **HERWIG 6.505**
 - décrit bien les données, même $\Delta\phi \sim \pi$
- **PYTHIA 6.223**
 - mauvaise description avec les paramètres par défaut
 - changement du paramètre gérant l'Initial State Radiation $\text{PARP}(67)=1.0 \rightarrow 4.0$
 - améliore la description
- permet d'ajuster les générateurs Monte-Carlo important pour LHC



Résumé

- Moyens de détection et de reconstruction des jets
- Tests de QCD dans des domaines cinématiques inexplorés (jets de grands p_T), nécessité de diminuer les erreurs expérimentales (JES)
- bientôt première publi QCD pour DØ Run II