

Production des quarks lourds au LHC

Magdalena Malek
Institut de Physique Nucléaire à Orsay

Rencontres QGP France 17-20/09/07
Etretat



Plan

Partie théorique

- La section efficace de production des quarks lourds
- La structure du proton au repos (QPM)
- Les faits expérimentaux (HERA)
- Description du proton en fonction de l'énergie:
QPM amélioré par la QCD, CGC

Simulations

- Paramètres utilisés dans les différents modèles
- Résultats
- Conclusions
- Perspectives

Section efficace de production d'une paire $q\bar{q}$

$$d\sigma \sim \sum_{a,b=q,\bar{q},g} f_{a/A} \otimes f_{b/B} \otimes d\hat{\sigma}_{ab \rightarrow Q\bar{Q}}(\alpha_S(\mu_R^2), \mu_F^2, m_Q, x_A, x_B)$$

$f_{a/A}, f_{b/B}$ Les fonctions de distributions de partons dans un noyau (PDFs) traduisent la probabilité de trouver un parton a dans le noyau de type A en fonction de la fraction d'impulsion du noyau x_a portée par le parton qui participe à l'interaction.

Les PDFs sont extraites à partir des fonctions de structure qui sont mesurées dans la diffusion profondément inélastique $ep \rightarrow eX$.

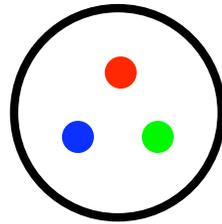
Section efficace de production d'une paire $q\bar{q}$

$$d\hat{\sigma}_{ab \rightarrow Q\bar{Q}}$$

La section efficace partonique de la production d'une paire de quarks lourds, de masse m_Q chacun, à partir de deux partons a, b est calculée en théorie perturbative au NLO (MNR), LO (CGC, CCFM)

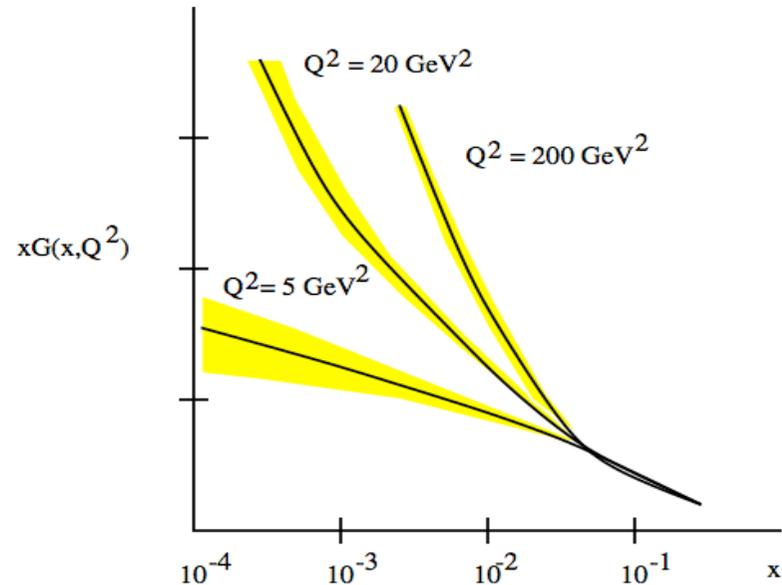
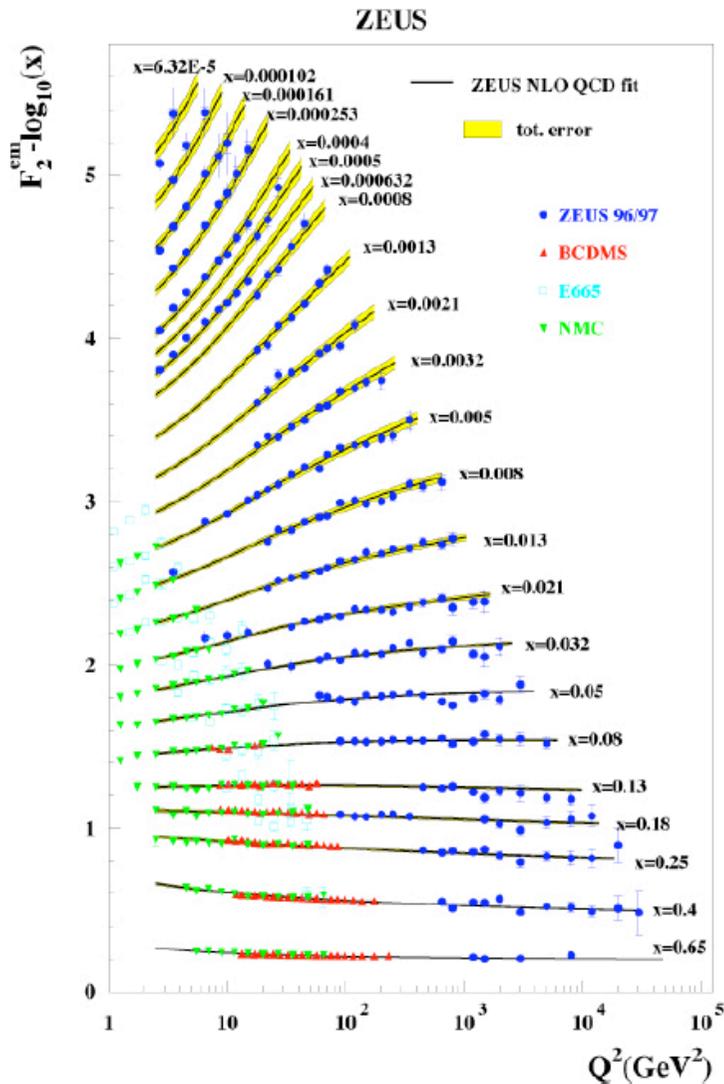
La bonne connaissance des PDFs est indispensable pour les prédictions de production des saveurs lourdes !!!

Proton au repos: Quark Parton Model (QPM)



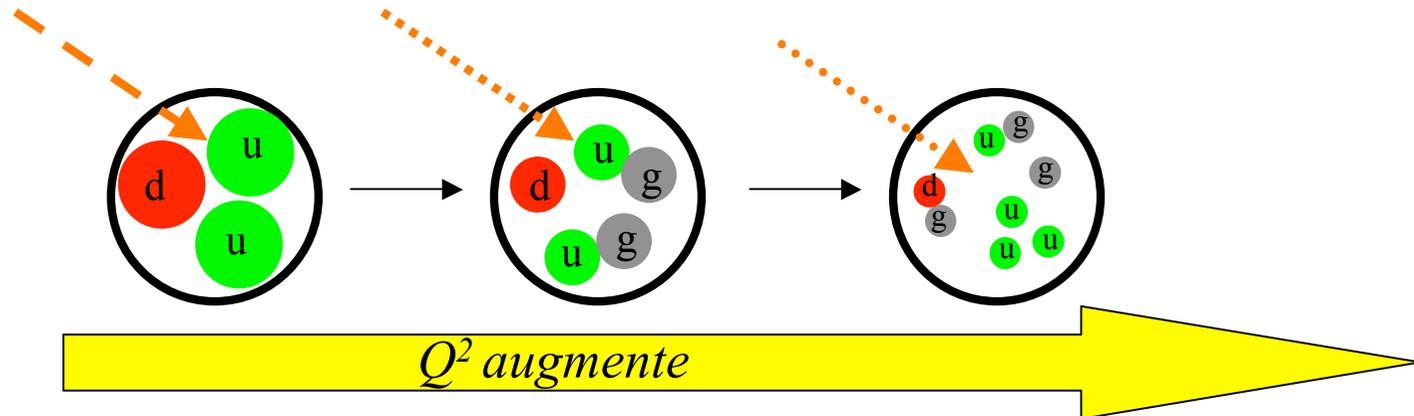
- Objet statique composé de trois partons ponctuels (trois quarks de valence)
- Pas d'interaction entre les composantes
- Bjorken "scaling": dans la limite $Q^2 \rightarrow \infty$ et à x fixé, les fonctions de structure du proton perdent leur dépendance en Q^2 : $F_2(x) = x \sum_{q,\bar{q}} e_q^2 f(x)$ où $f(x)$ est PDF
- Expérimentalement:
 - mesurer le $F_2(x)$ dans une gamme large en x et Q^2
 - trouver une paramétrisation qui s'ajuste bien aux données

HERA: les premières données pour $x < 10^{-2}$



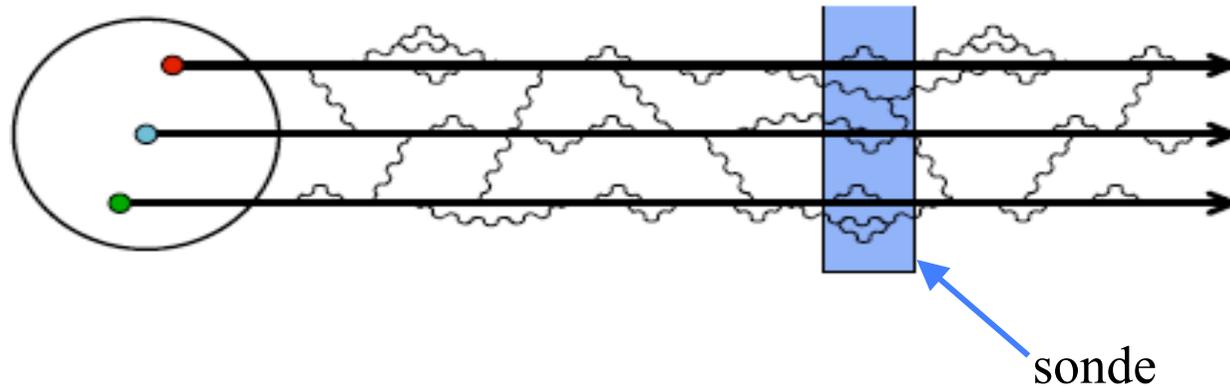
- Violation du Bjorken "scaling"
- Pour un grand Q^2 une augmentation rapide de $F_2(x)$ dans la région des petits x

A haute énergie



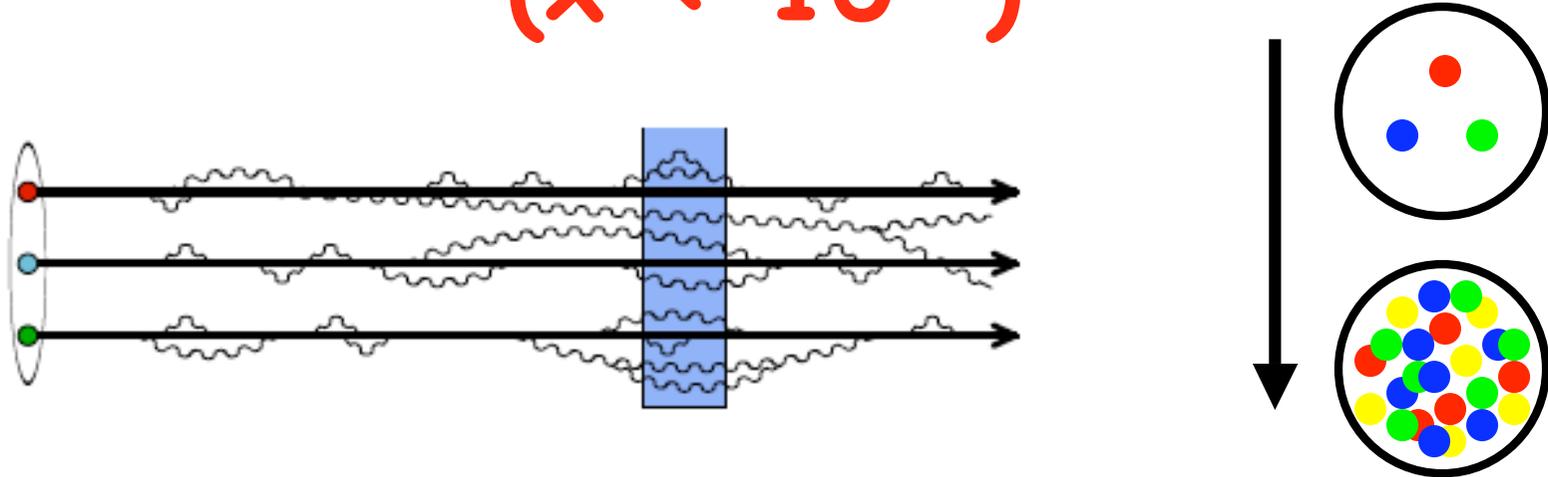
- Le photon interagissant avec le quark sonde le proton avec une résolution $R \sim 1/Q^2$
 - En bas Q^2 : R est grande \rightarrow quarks de valence
 - Quand Q^2 augmente : R diminue \rightarrow quarks de valence + quarks de la mer (gluons)

Proton de haute énergie: le QPM amélioré par la QCD



- Objet dynamique avec une structure très compliquée
- Le proton est composé de :quarks de valence (grand x), quarks de mer et gluons (petit x)
- Quand Q^2 augmente la probabilité de détecter un parton de petit x augmente

Proton de très haute énergie ($x < 10^{-2}$)



- La dilatation de l'échelle du temps dans la direction de propagation \rightarrow gluons "mous" (temps de vie suffisamment long pour interagir avec la sonde)
- Le nucléon vu par la sonde devient de plus en plus dense
- Le recouvrement des gluons "mous" dans la direction longitudinale suivi de la recombinaison ($gg \rightarrow g$): Evolution non linéaire de la densité
- Quand $Q^2 \leq Q_s^2 \rightarrow$ Saturation de la densité de gluons
- Proton = CGC (Color Glass Condensate)
- À la limite des très hautes énergies tous les hadrons se comportent de la même manière \rightarrow CGC est une approche universelle
- La prédiction de la production de saveurs lourdes dans le régime de petits x

Le régime de saturation

- La densité transverse de gluons:

$$\rho \sim \frac{xg(x, Q^2)}{\pi R^2}, \quad R \text{ est le rayon du noyau}$$

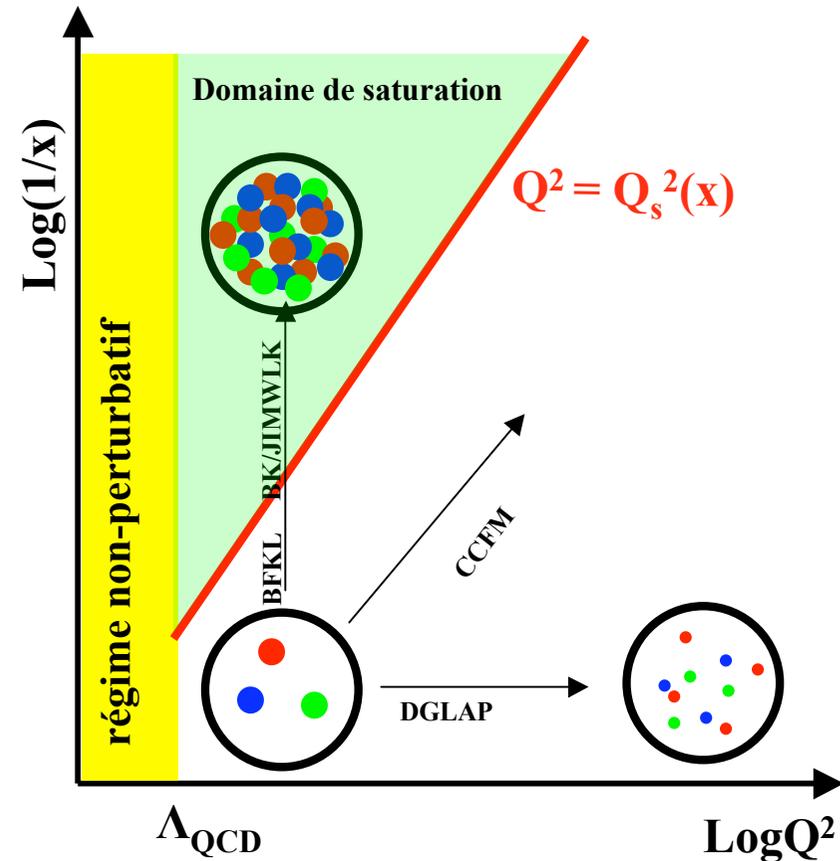
- La section efficace de la recombinaison de gluons

$$\sigma_{gg \rightarrow g} \sim \frac{\alpha_s}{Q^2}$$

- La recombinaison si $\rho\sigma_{gg \rightarrow g} \geq 1$
($Q^2 \leq Q_s^2$) :

$$Q_s^2 \sim \alpha_s \frac{xg(x, Q_s^2)}{\pi R^2} \sim A^{1/3} \frac{1}{x^{0.3}}$$

- Quand il y a saturation, la densité de gluons $\sim 1/\alpha_s$
- Les prédictions pour LHC en pp:
 $Q_s^2 \sim 2-3 \text{ GeV}^2$



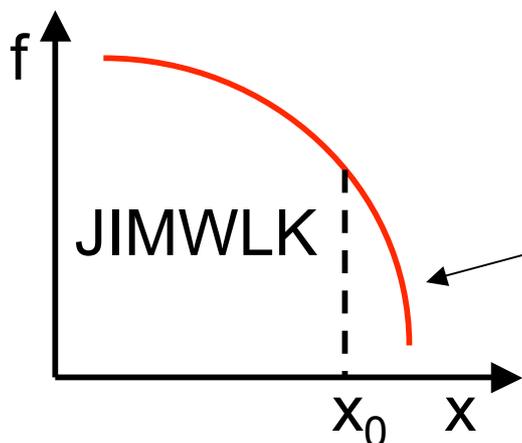
Simulations

But: Le calcul de la section efficace de production, de la distribution en p_t et en y du charme et de la beauté en collisions pp.

- Trois modèles utilisés:
 - * **MNR**: protons décrits avec cteq5L
 - * **CGC**: protons décrits avec $Q_s^2 (x_0=10^{-2})=0.33 \text{ GeV}^2$ et $\alpha_s = 0.15$
 - * **CCFM**
- Les énergies [TeV]: 1.96, 5.5, 8.8, 14
- Les masses de quarks [GeV]: $m_c=1.2$, $m_b = 4.75$
- Normalisation des spectres par rapport à l'énergie 1.96 TeV

CGC

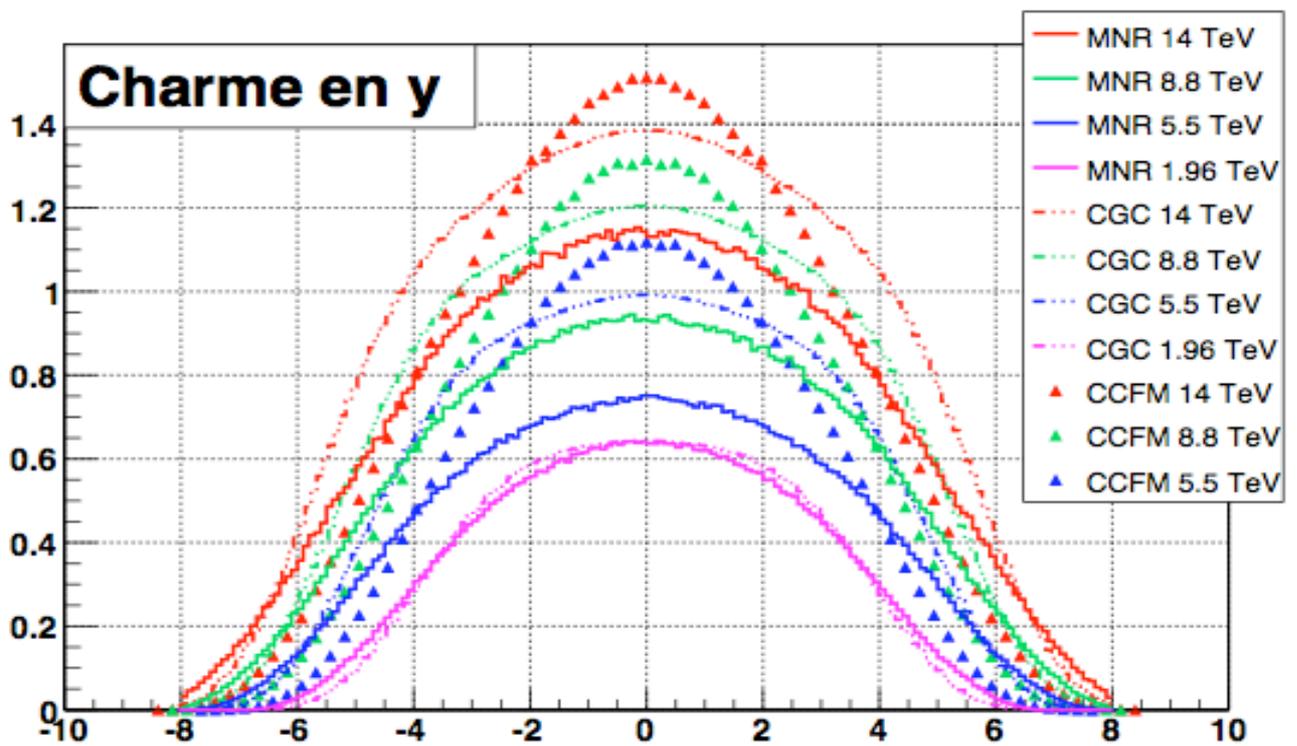
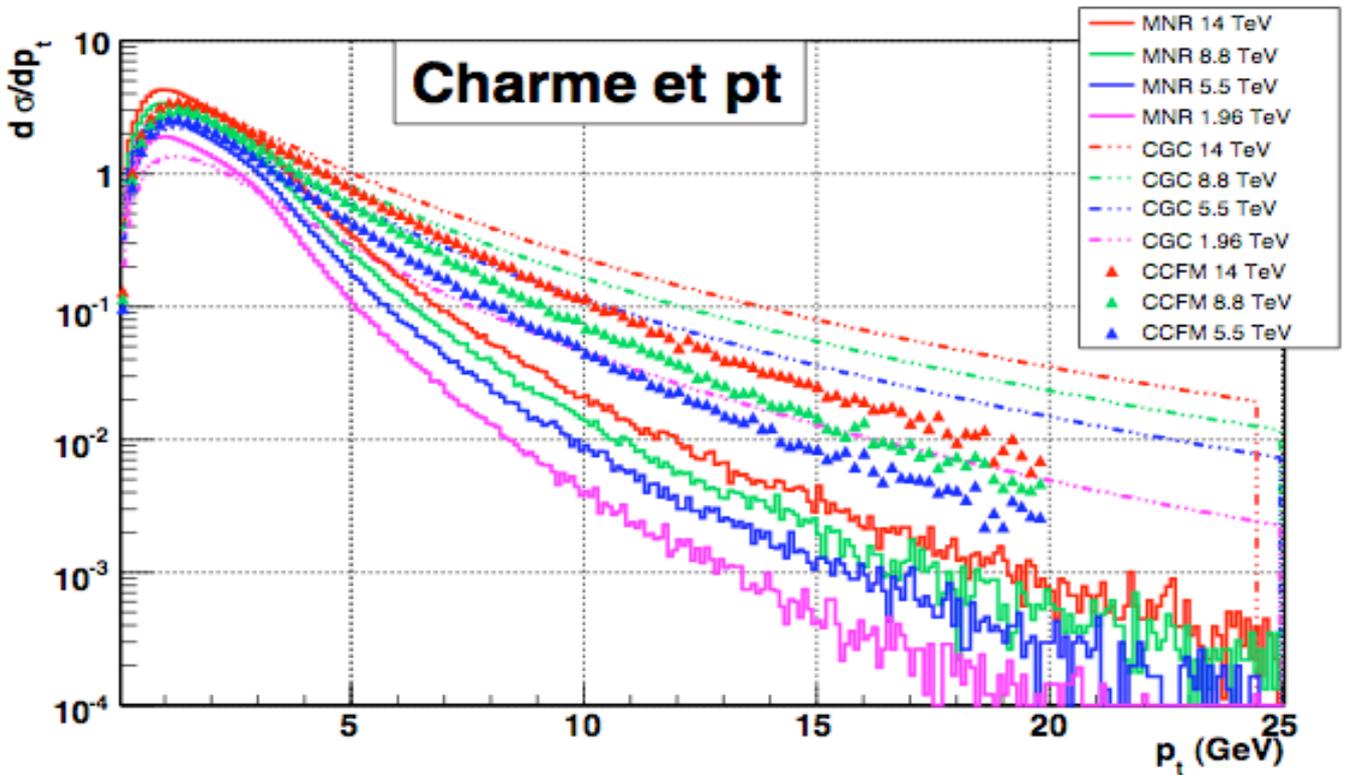
- La section efficace partonique est calculée au Leading Order
- Diffusions multiples incluses
- Effets de saturation inclus
- PDF donnée par l'équation d'évolution BK/JIMWLK pour $x < x_0$
- $x_0 = 10^{-2}$: condition initiale fixée par le modèle MV



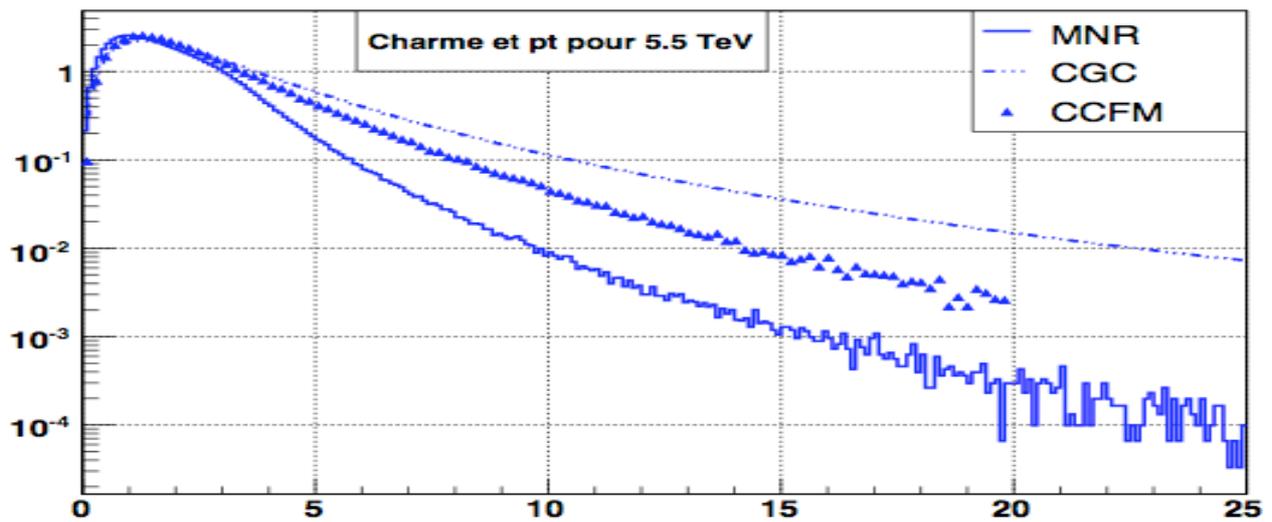
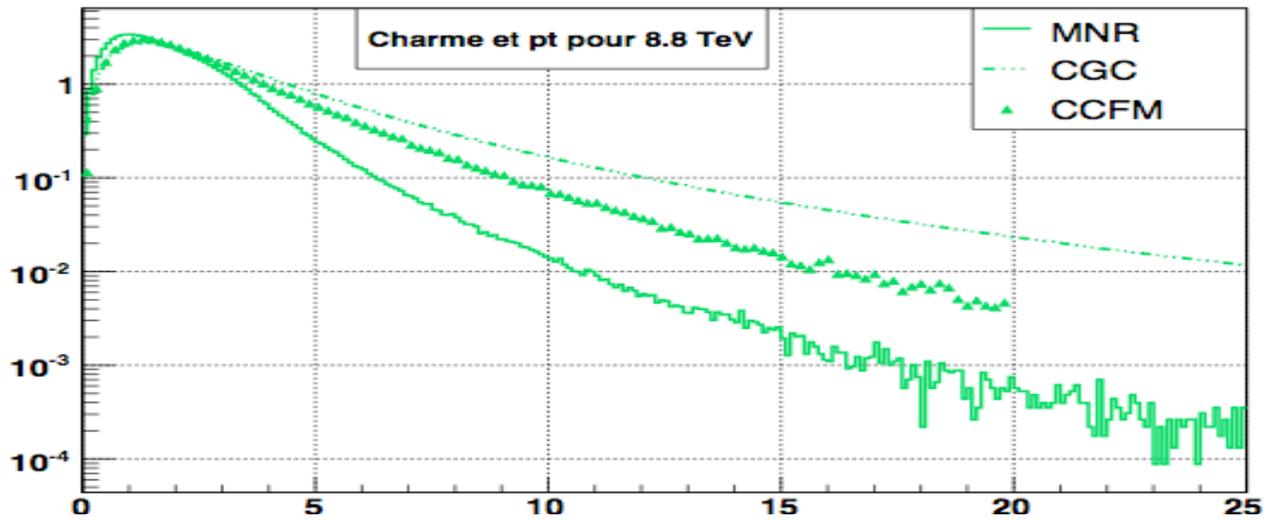
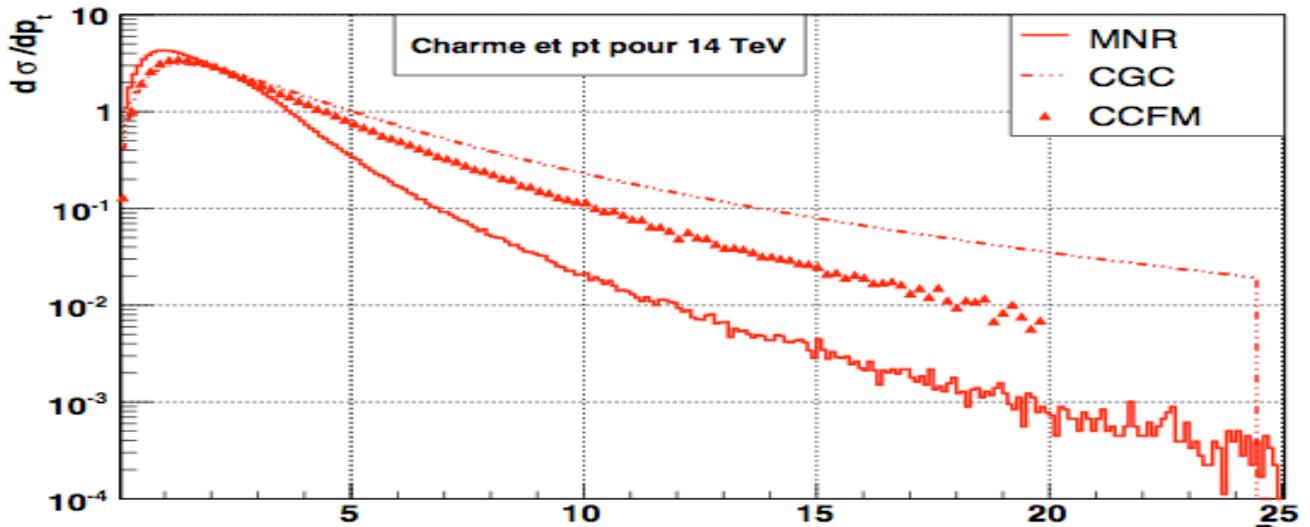
Définie de la manière ad hoc pour $x > x_0$:

$$f = \left(\frac{1-x}{1-x_0} \right)^4 f_0$$

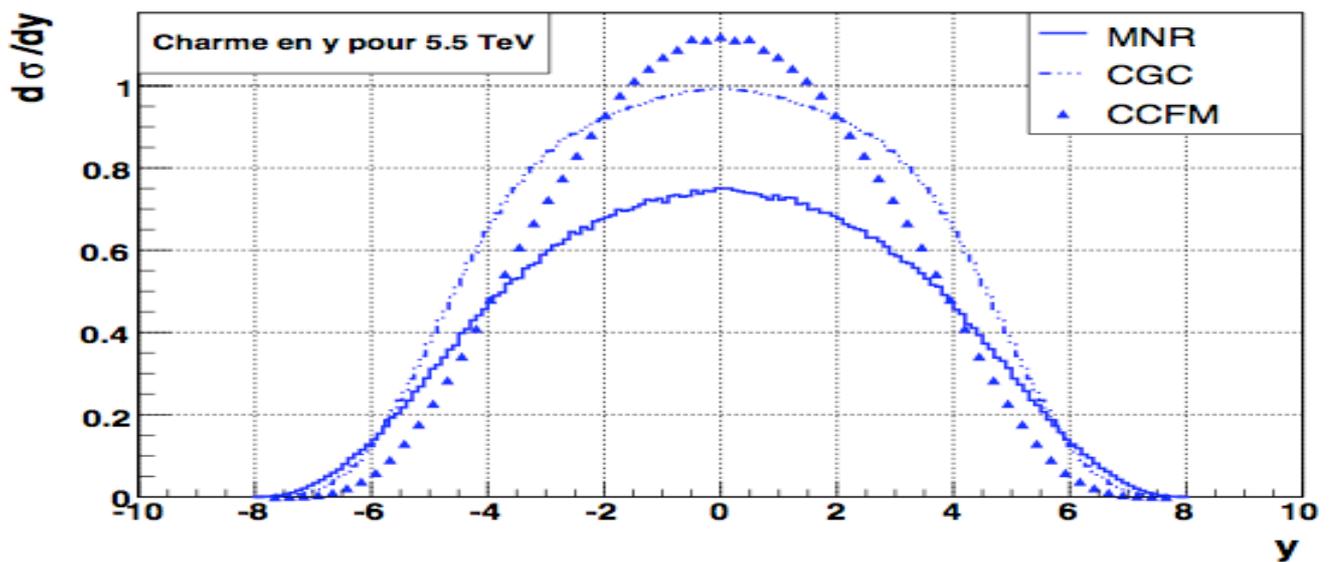
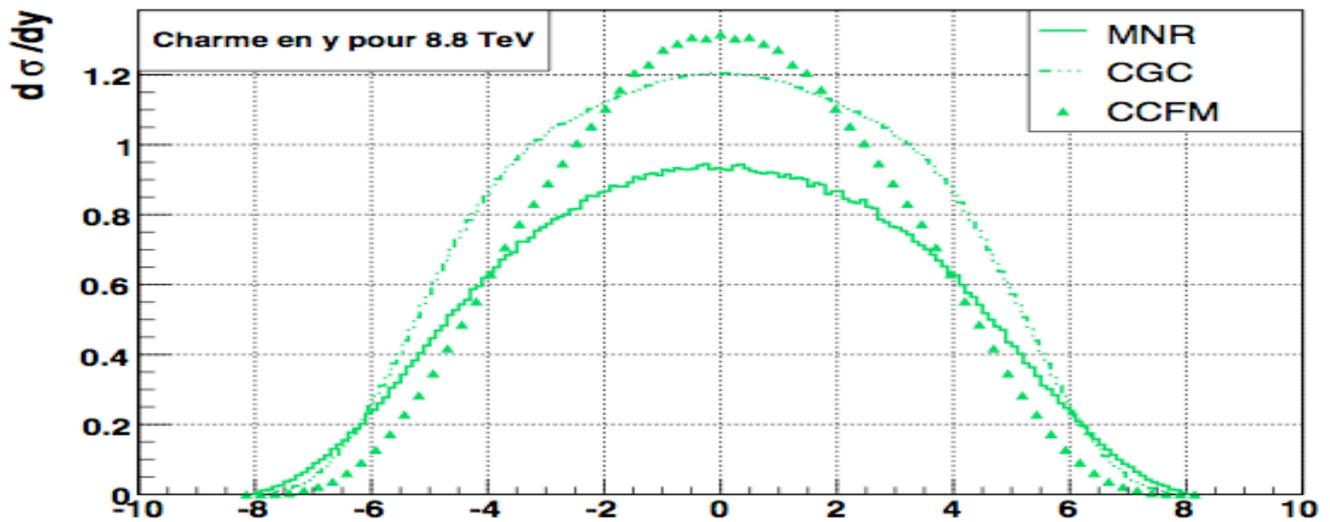
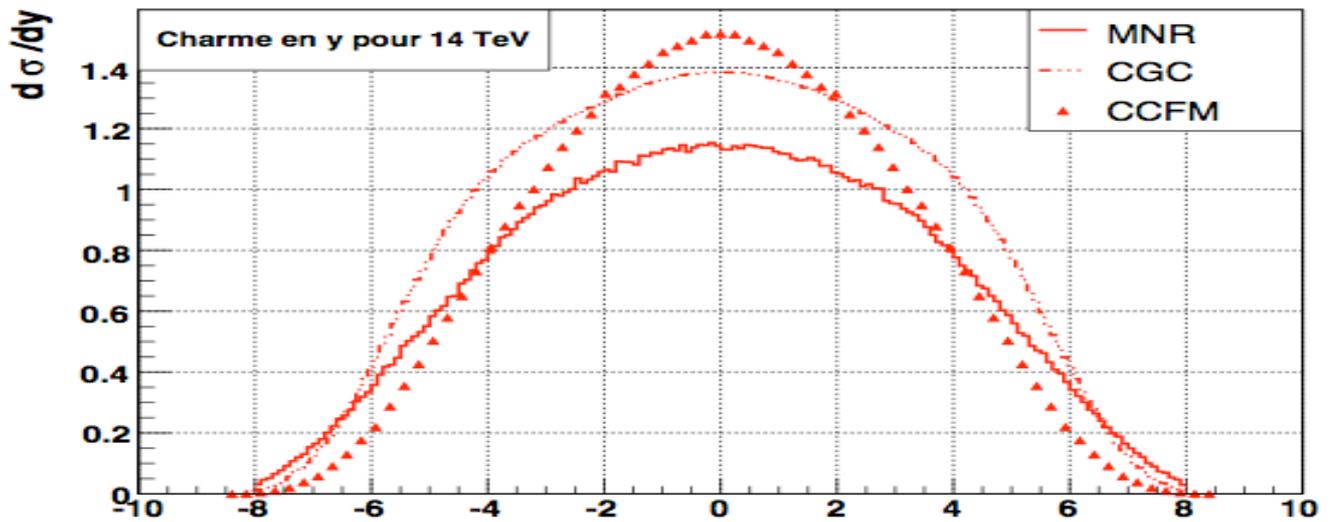
Charme



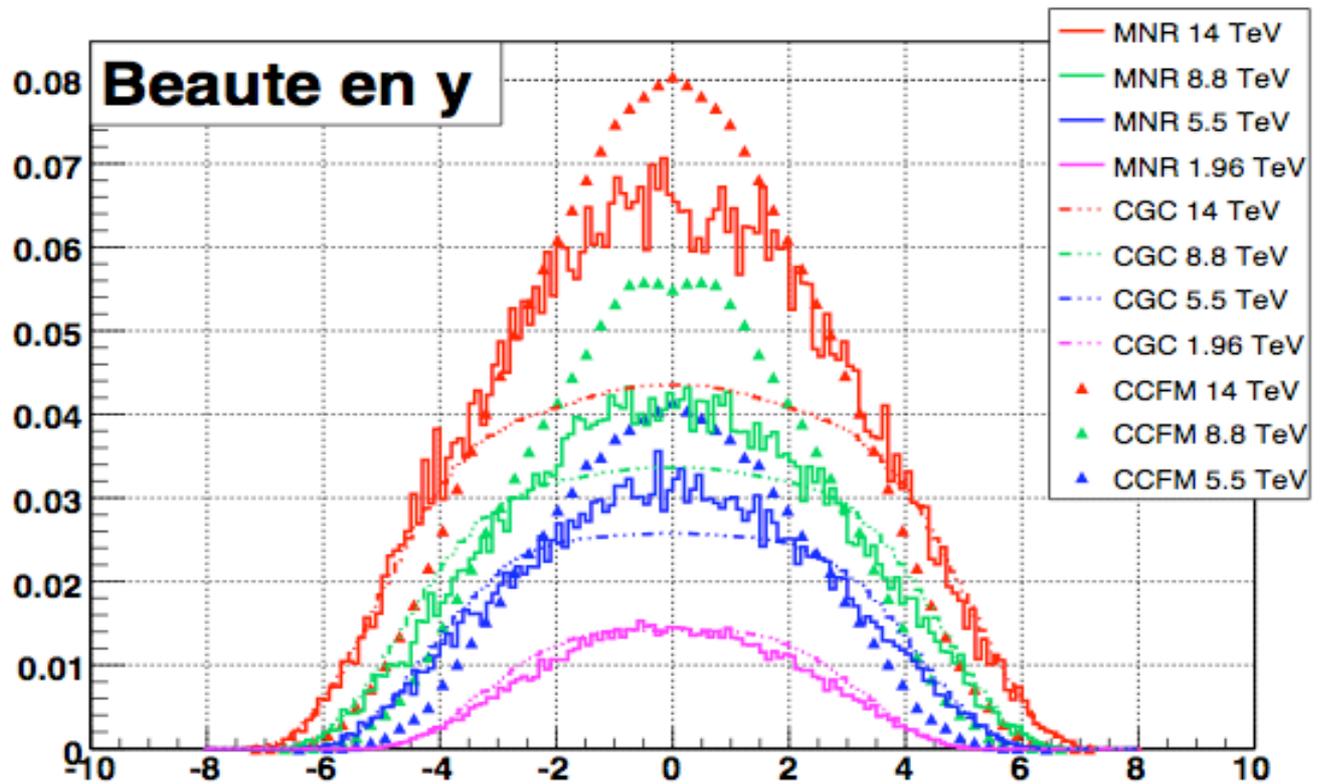
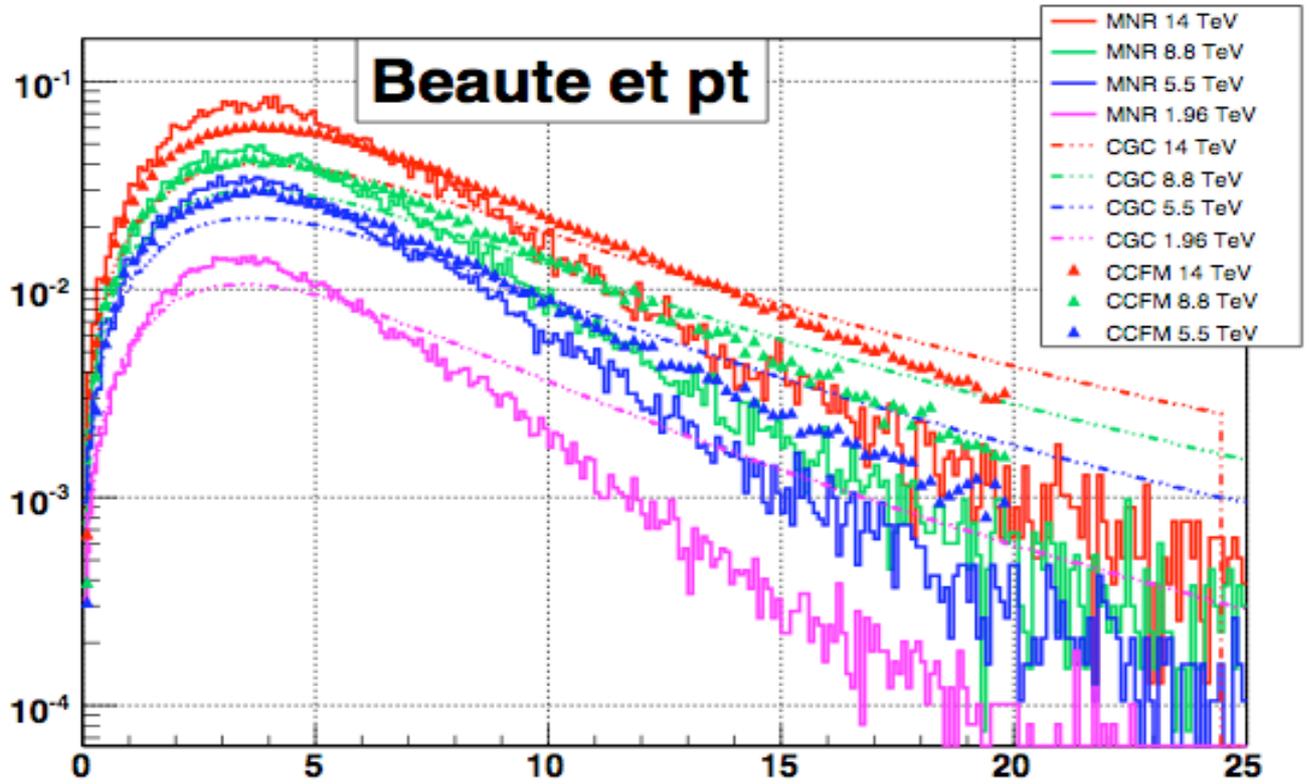
Charme en p_t



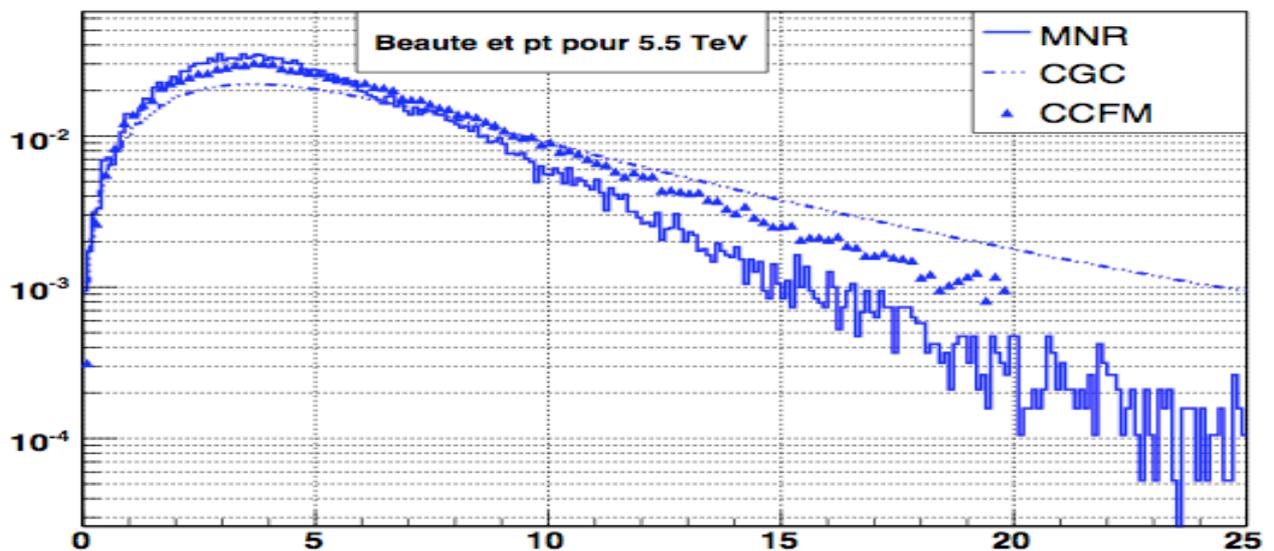
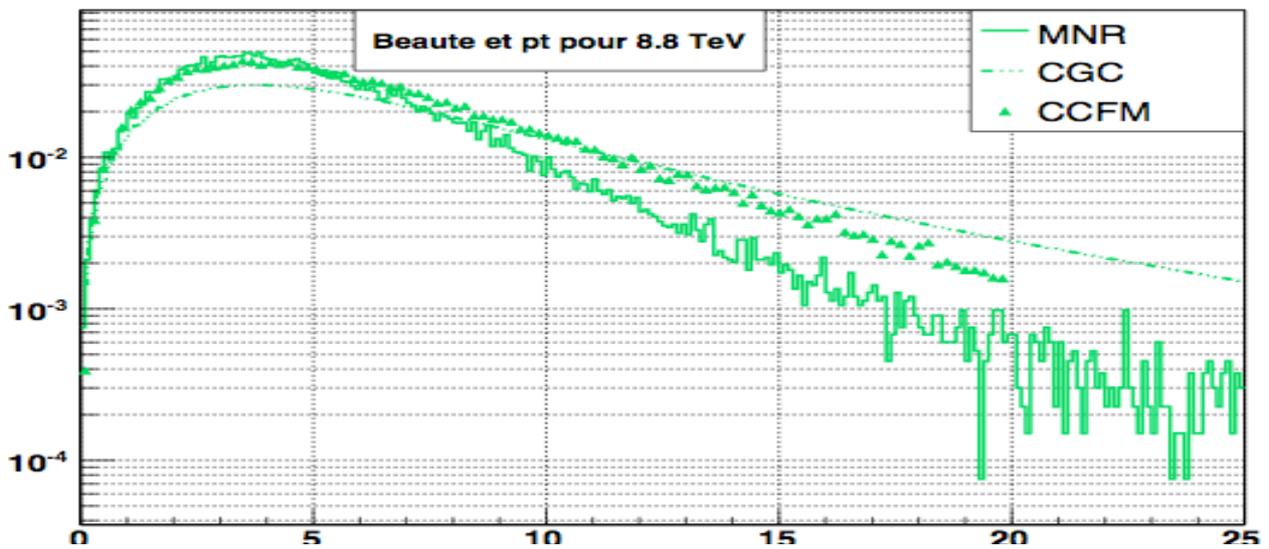
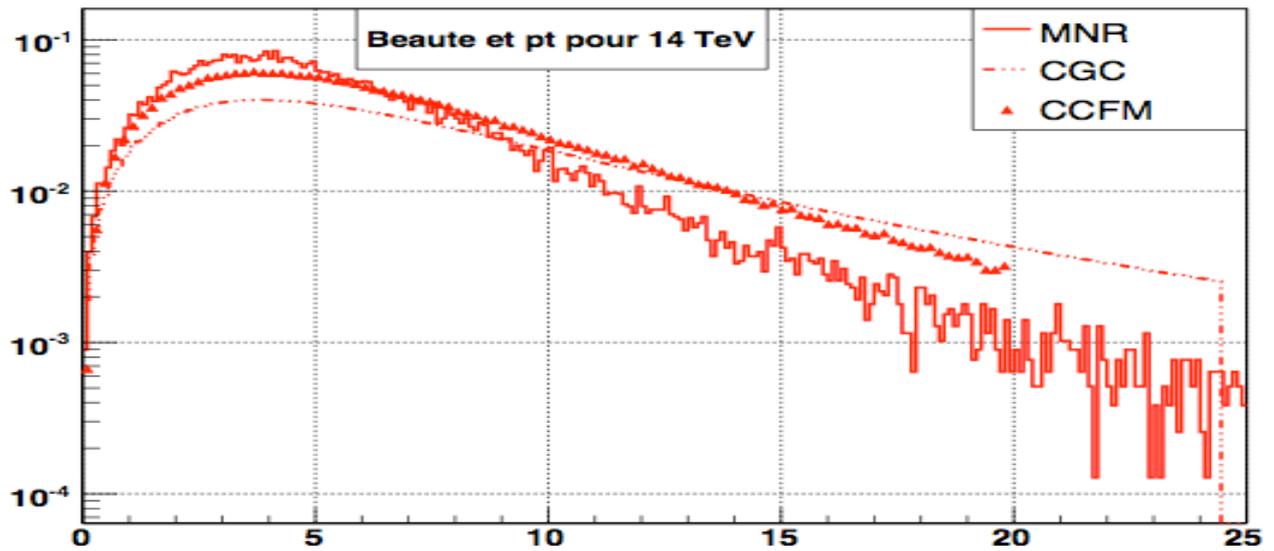
Charme en y



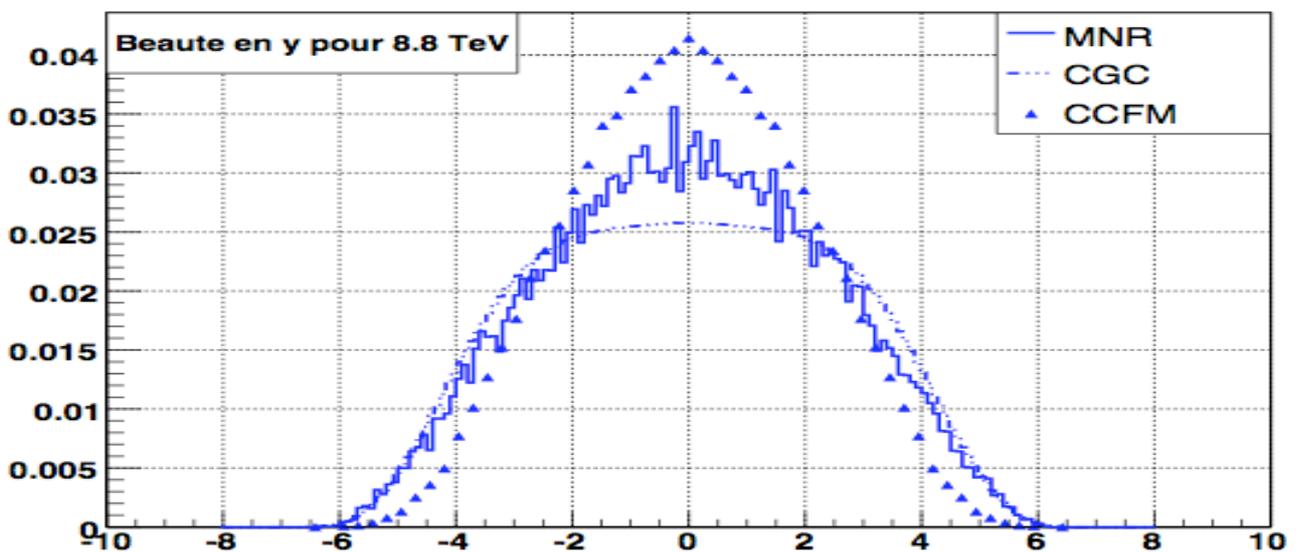
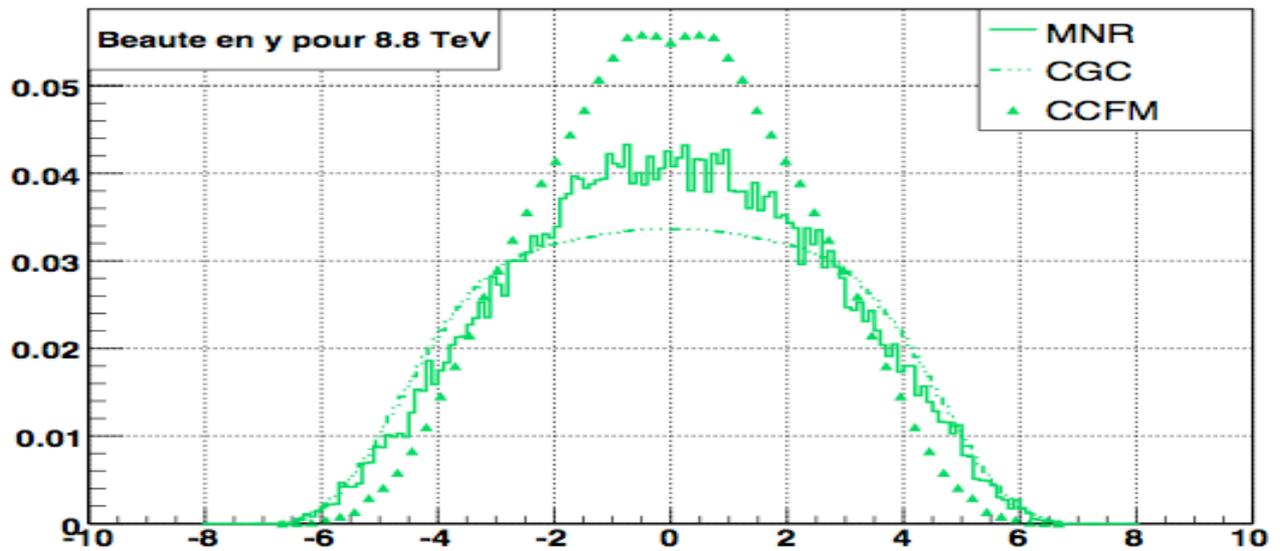
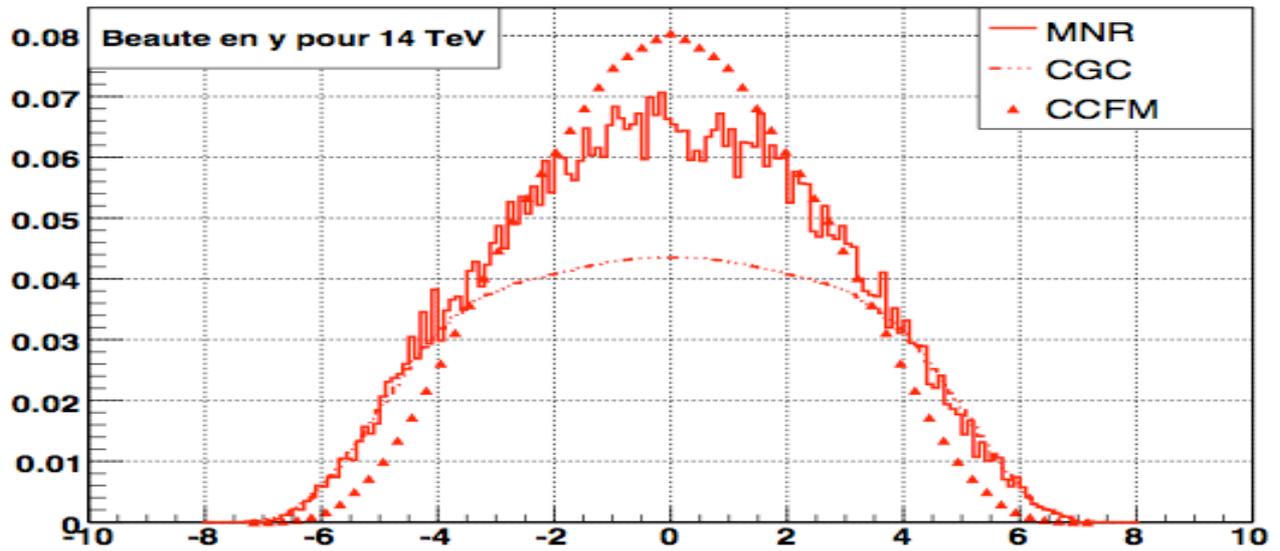
Beauté



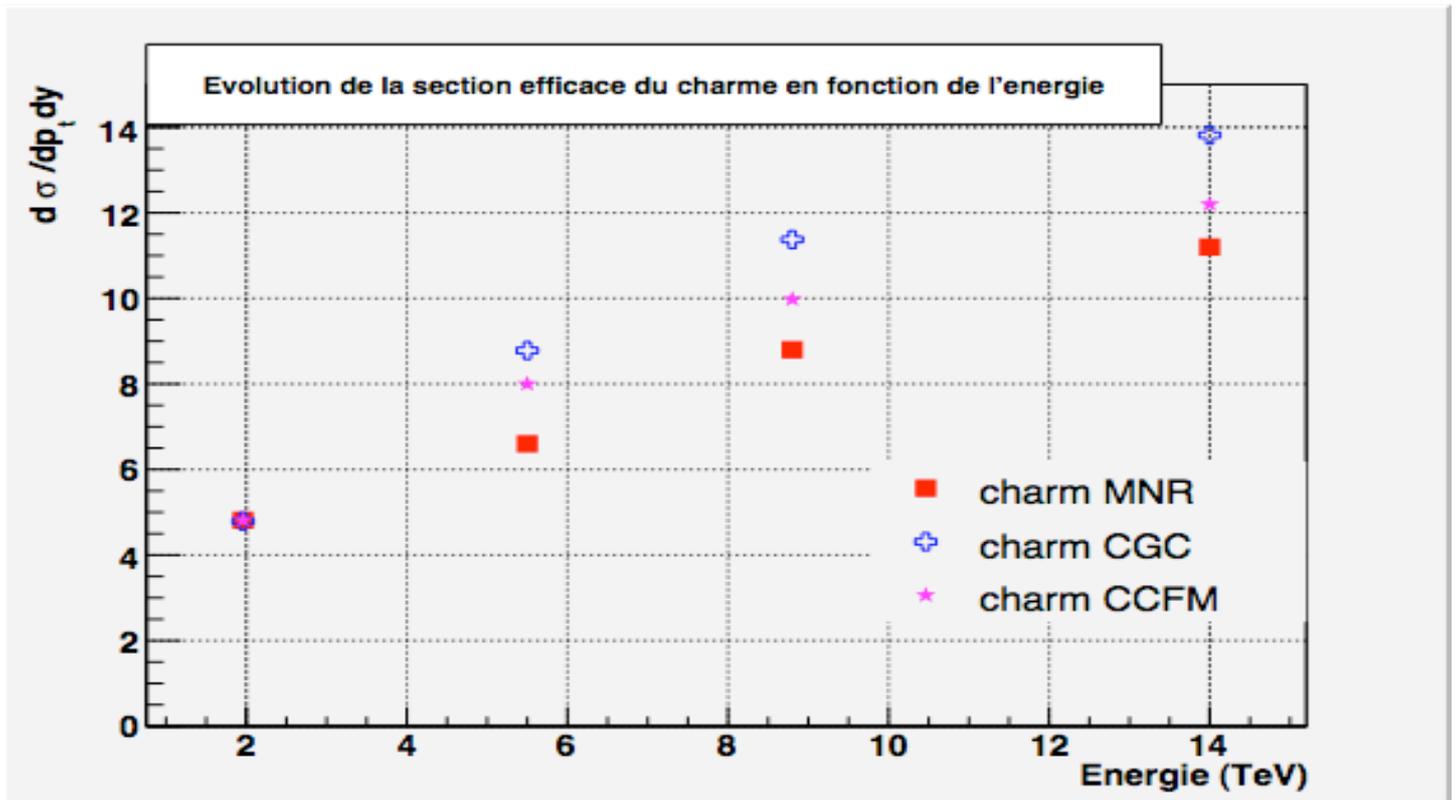
Beauté en p_t



Beauté en y

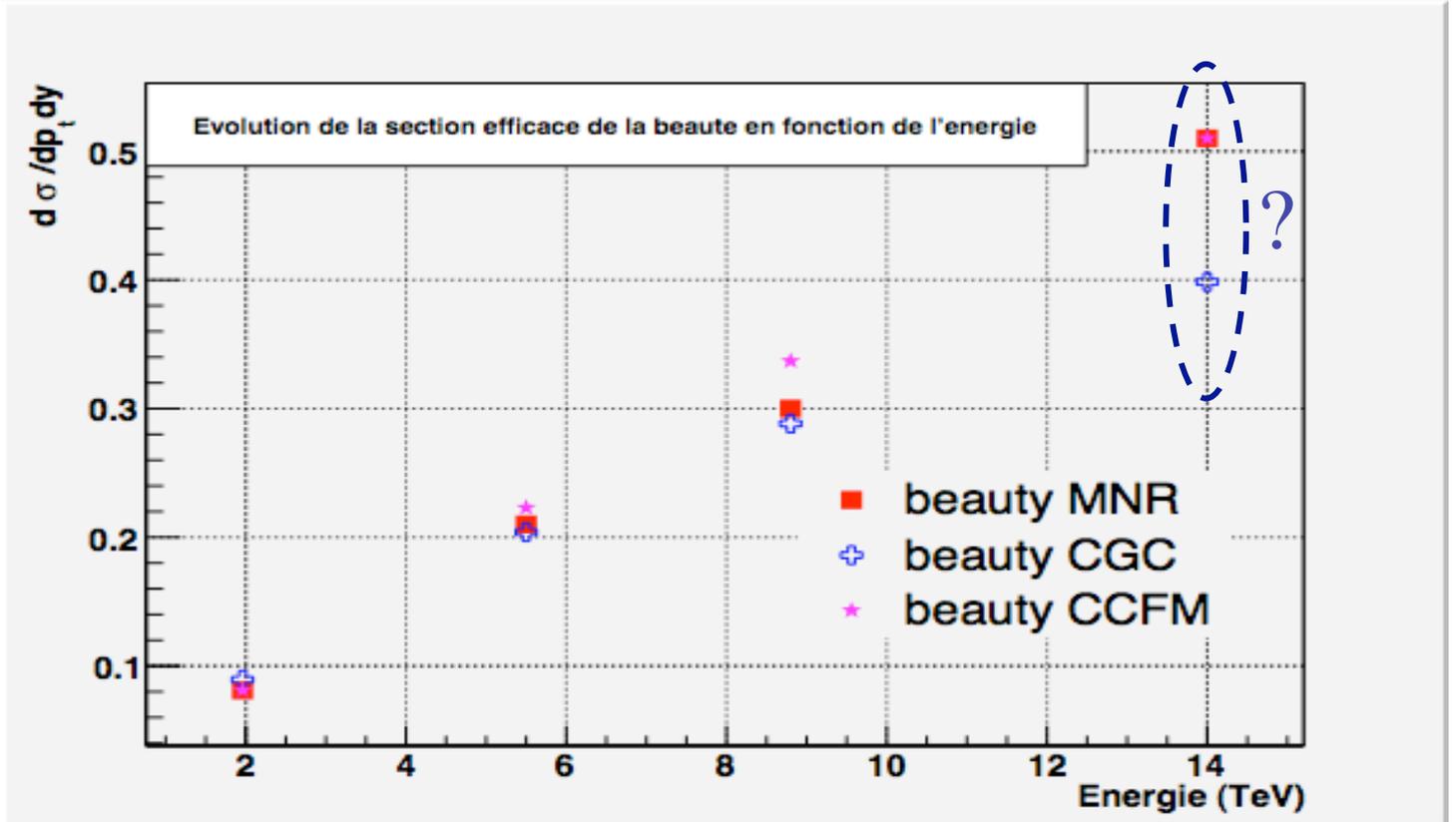


La section efficace du c en fonction de l'énergie



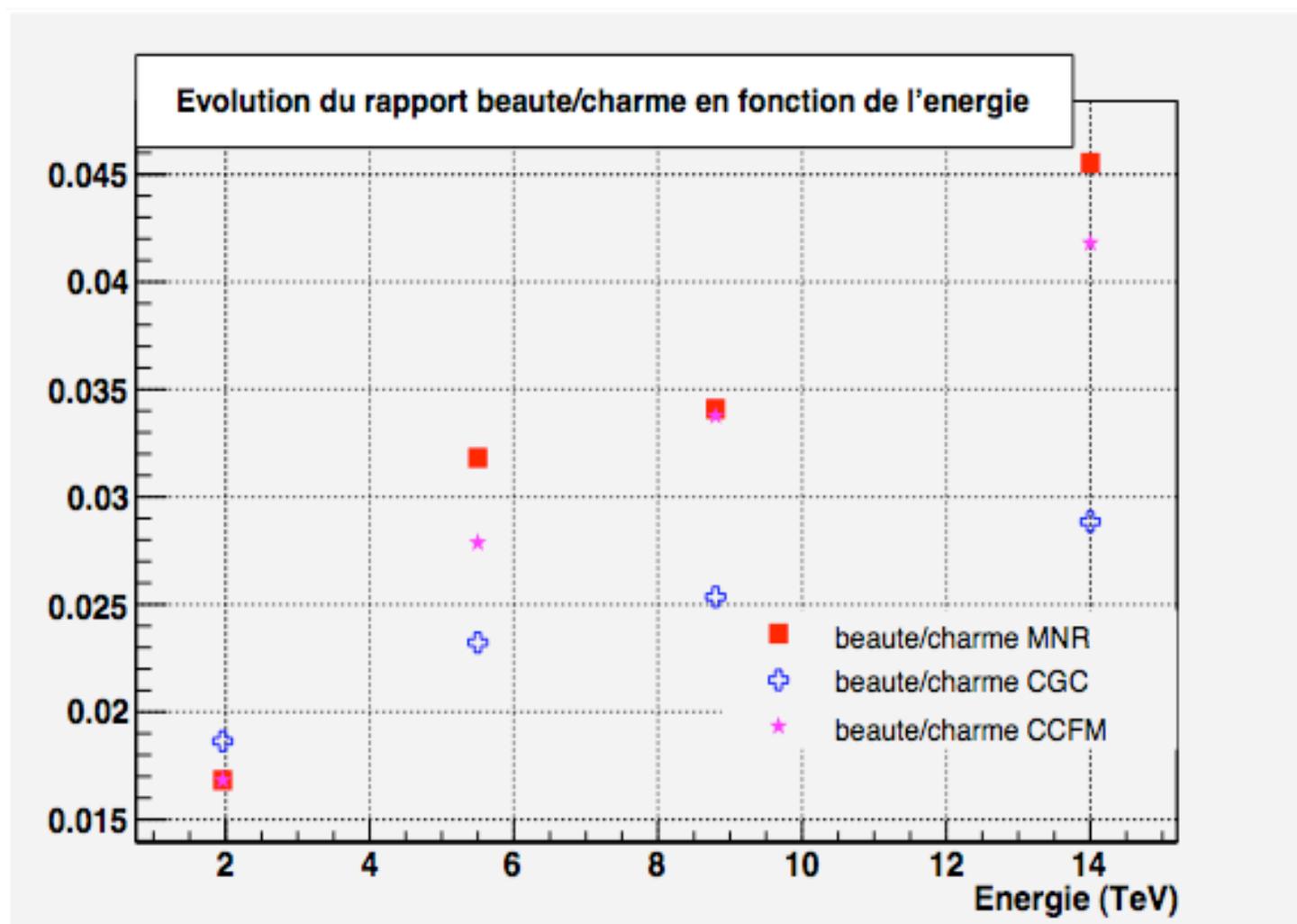
\sqrt{s} [TeV]	MNR	CGC	CCFM
1.96	-----	4.79188	4.81
5.5	6.6	8.78232	8.0
8.8	8.8	11.3751	9.98
14	11.2	13.8162	12.2

La section efficace du b en fonction de l'énergie



\sqrt{s} [TeV]	MNR	CGC	CCFM
1.96	-----	0.0893213	0.081
5.5	0.21	0.204002	0.223
8.8	0.3	0.288359	0.337
14	0.51	0.398556	0.51

Beauté / Charme



Conclusions

- En p_t :
 - Les spectres de CGC sont plus durs
 - Les diffusions multiples suppriment les bas p_t et favorisent les grands p_t

Perspectives (1)

- Observer la saturation à l'aide du spectromètre à dimuons d'ALICE
- La coupure en rapidité
- $4 < y < -2.5$
- Décroissance en mésons et ensuite en muons

Perspectives (2)

Multiplicité des gluons en fonction du paramètre d'impact en collisions pp

- Qs^2 dépend de la longueur de la matière traversée
- Découpage en plusieurs zones en Qs^2 du proton / noyau
- $(Qs^2_1; Qs^2_2) \Rightarrow$ intégrer sur la zone d'interaction
- Est-il possible de déduire le paramètre d'impact à partir de la multiplicité ?
- Si oui: étudier le rapport R_{CP} en fonction de p_t et y