



Production des mésons D^0 dans les collisions proton-proton au LHC (Run II)

Arthur Gal

Stage réalisé au sein de l'équipe ALICE, IPHC (Strasbourg)

Encadrants : Antonin MAIRE
Julien HAMON

Plan

I - Motivations

A. Le Plasma de Quarks et de Gluons

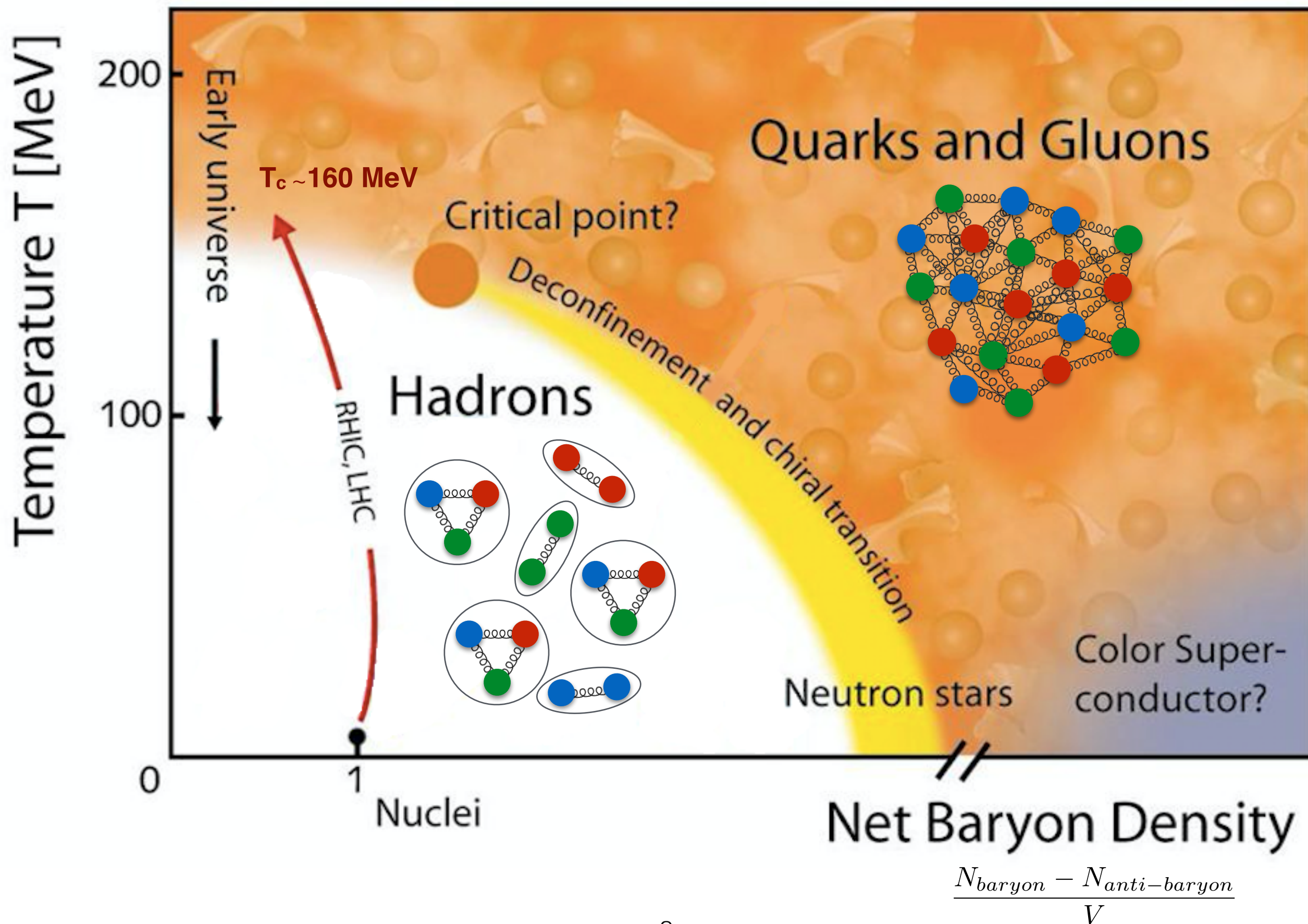
B. Collisions proton-proton

C. Détecteur ALICE

II - Travail réalisé

Conclusion et perspectives

I. A - Le Plasma de Quarks et de Gluons (PQG)



I. A - Le Plasma de Quarks et de Gluons (PQG)

Étude en laboratoire

3 systèmes :

- Pb-Pb \rightarrow PQG
- p-Pb \rightarrow influence des noyaux
- **pp** \rightarrow test de la QCD

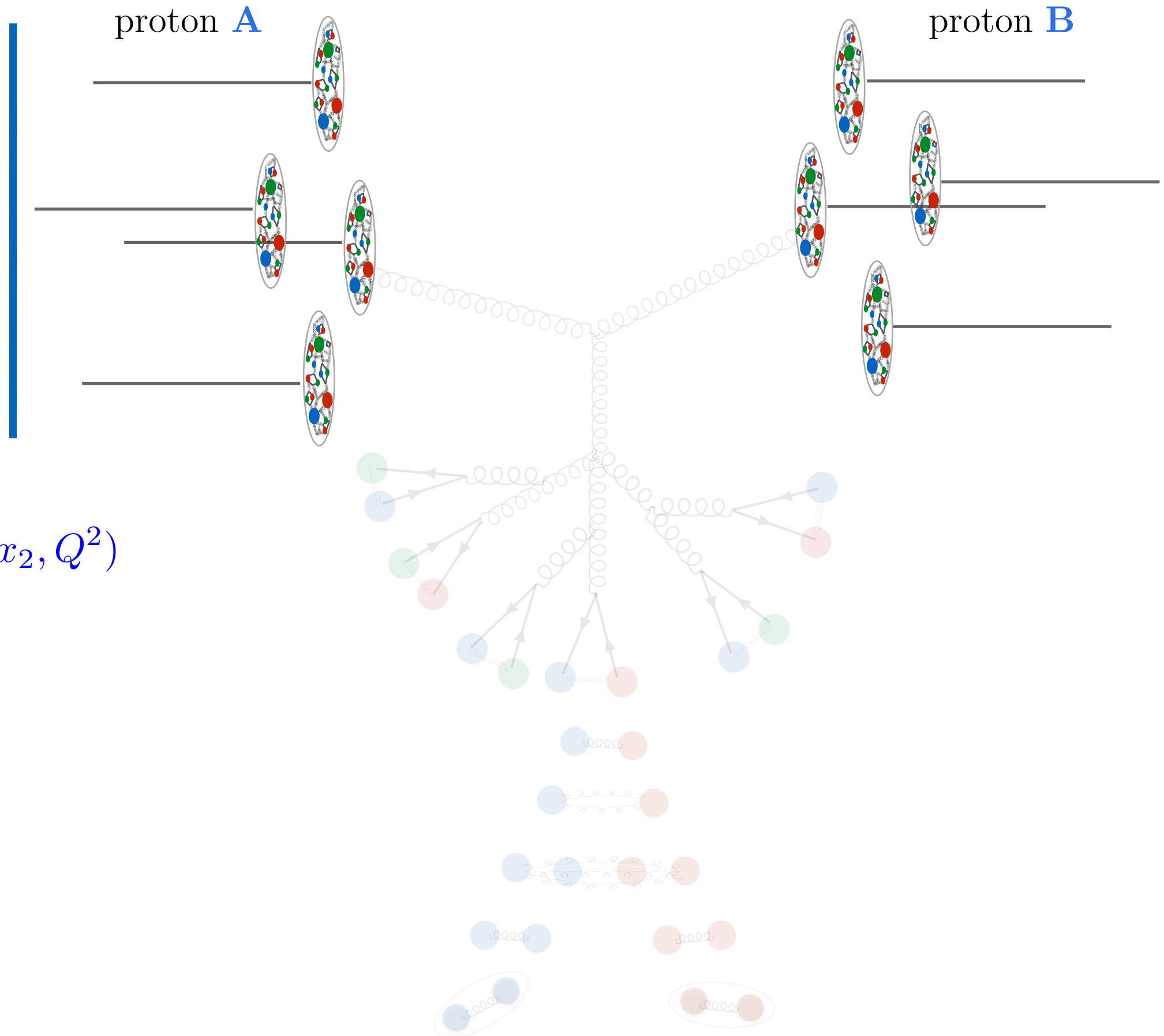
Pourquoi le **méson $D^0(c\bar{u})$** ?

- $m_c = 1.27 \text{ GeV} \gg \Lambda_{\text{QCD}} \approx 0.2 \text{ GeV}$
- Sonde de la dynamique de la collision

I. B - Le cas des collisions proton-proton

État initial

$$f_A(x_1, Q^2) \otimes f_B(x_2, Q^2)$$

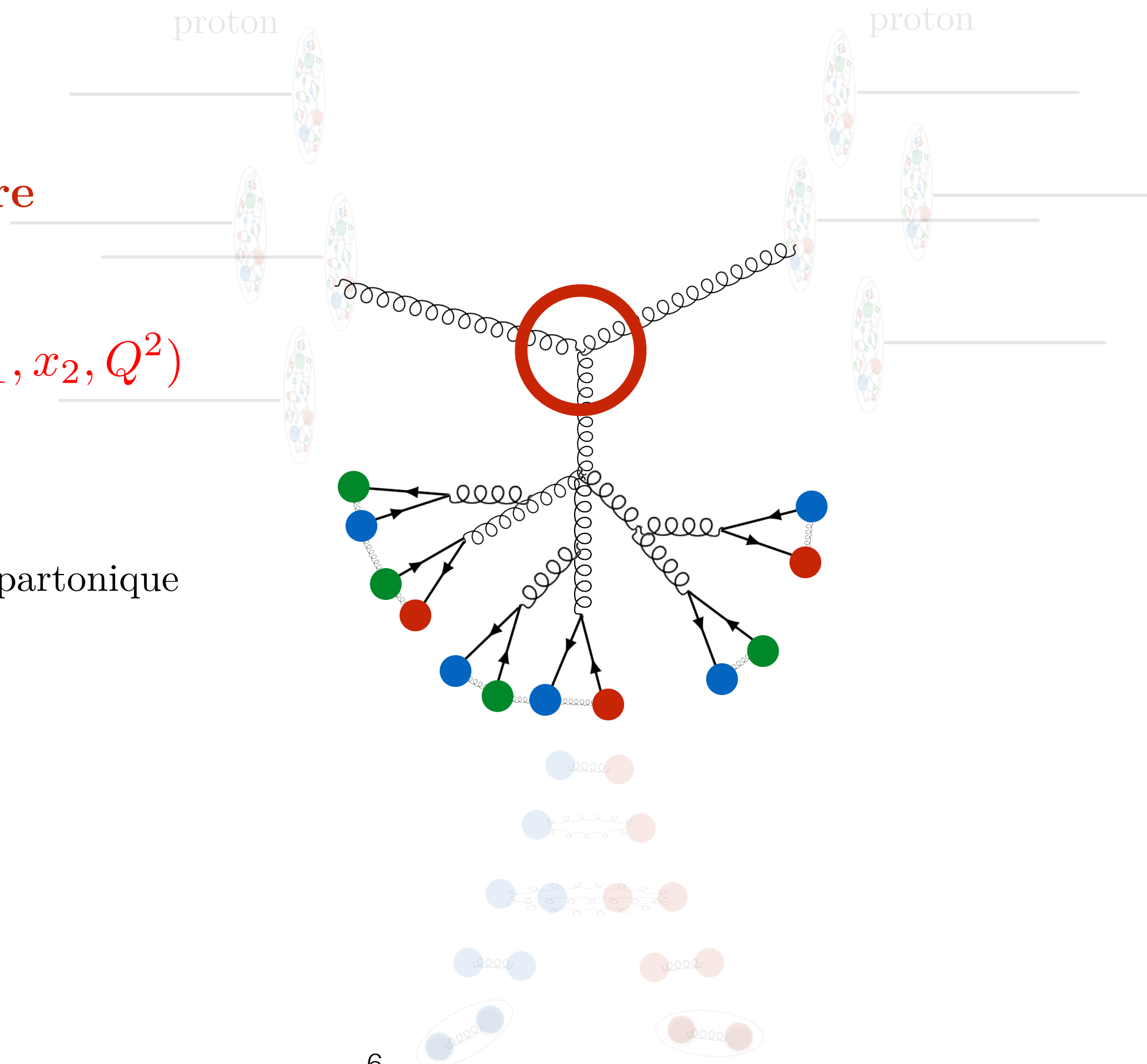


I. B - Le cas des collisions proton-proton

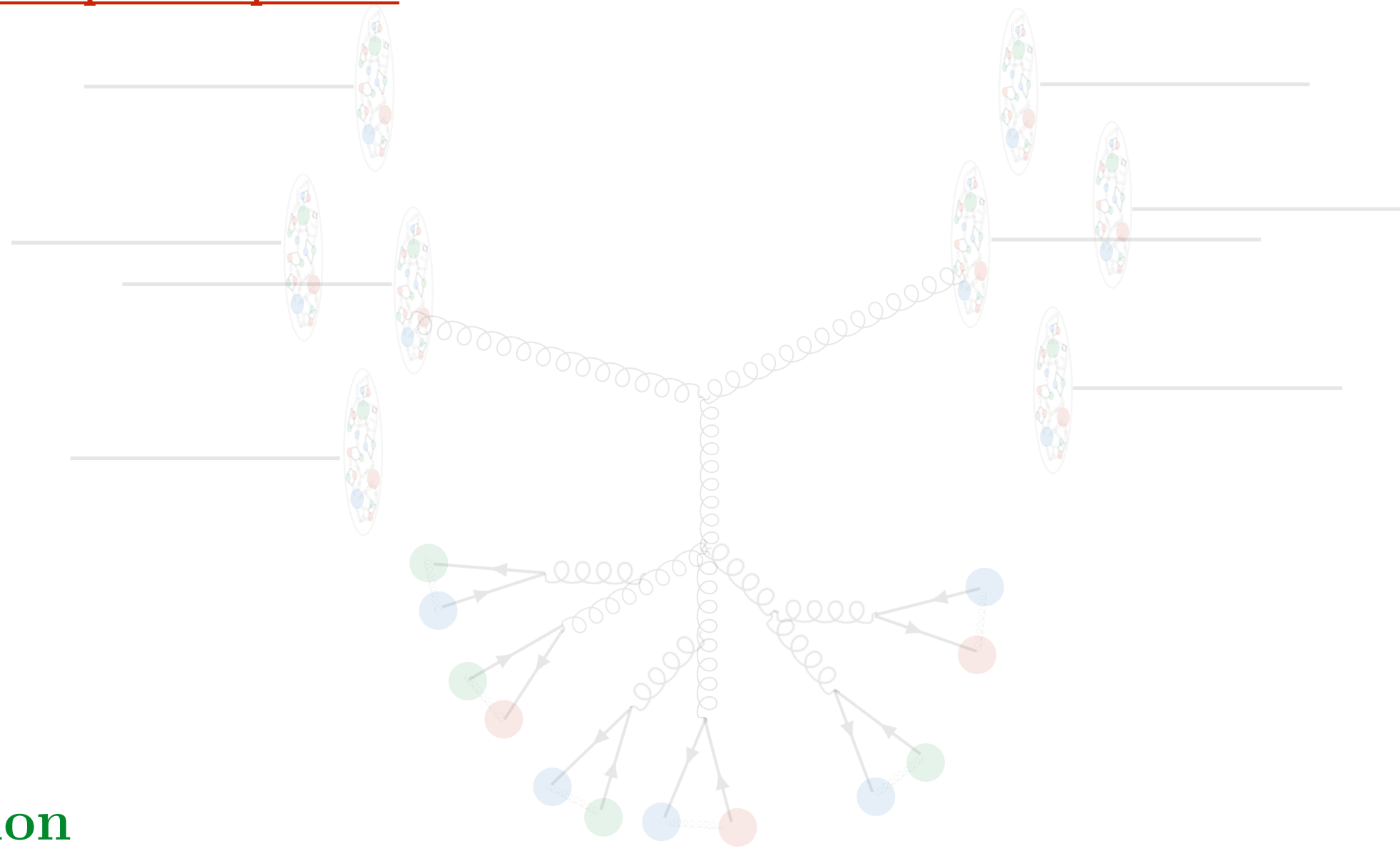
Diffusion dure

$$\sigma_{a,b \rightarrow k,X}(x_1, x_2, Q^2)$$

Gerbe partonique

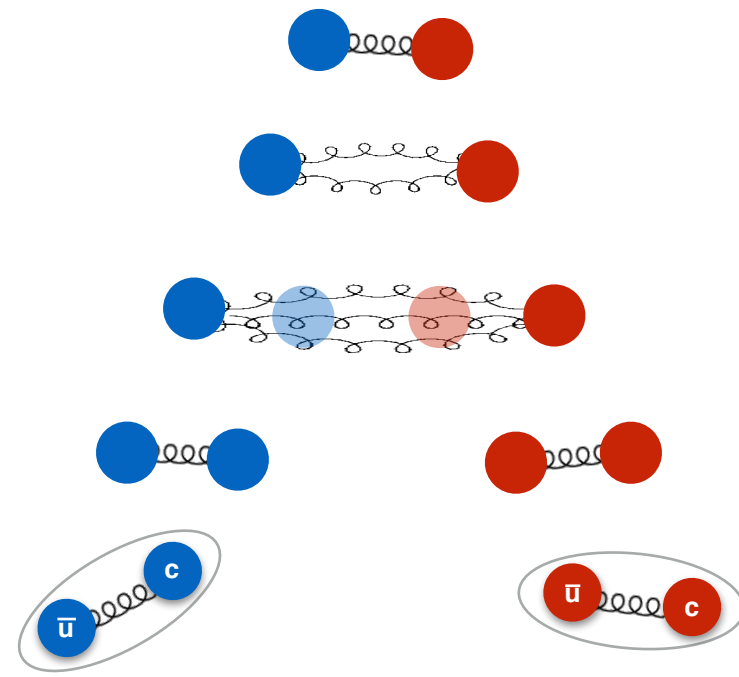


I. B - Le cas des collisions proton-proton



Fragmentation

$$D_{k \rightarrow H}(x_H, Q^2)$$

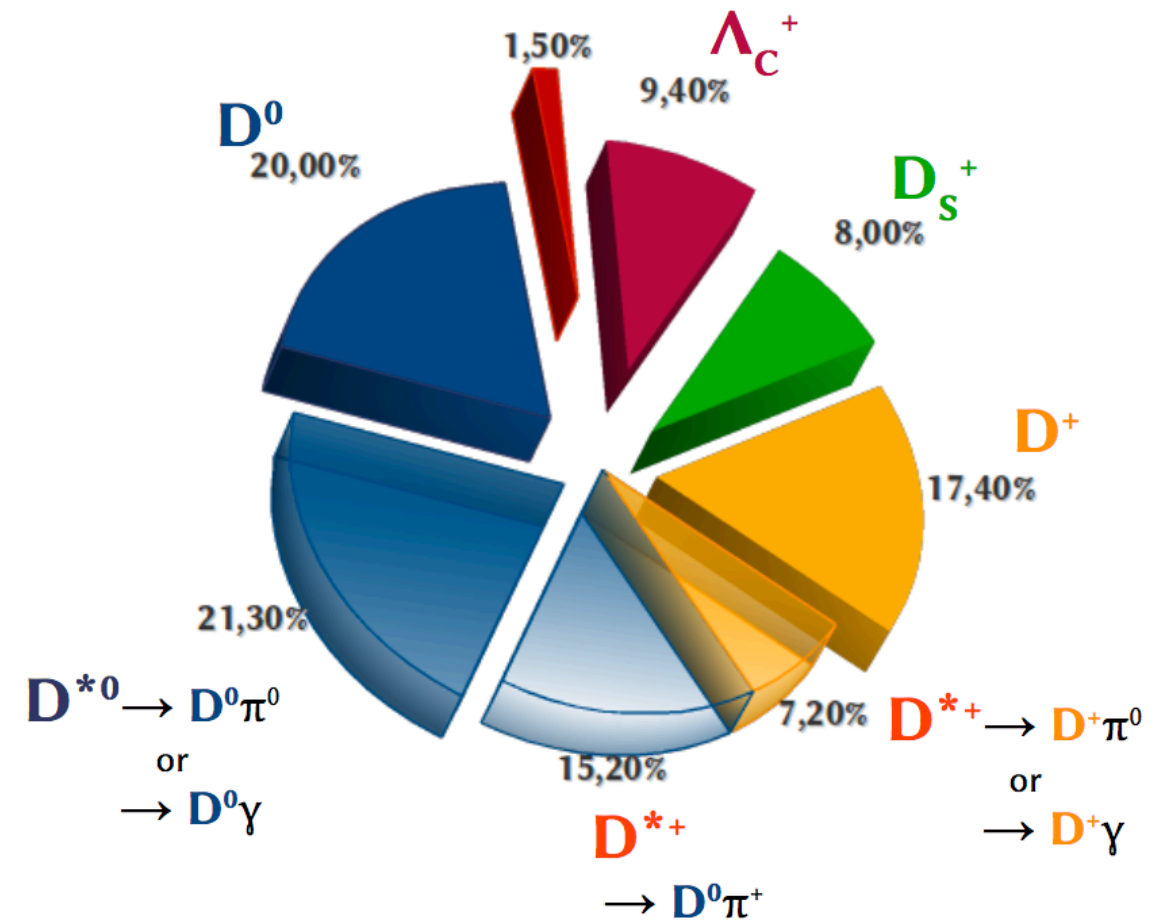


I. C - Motivations de la mesure de section efficace de production

Section efficace de production :

$$\sigma_{pp \rightarrow D^0} = \underbrace{f_A(x_1, Q^2)}_{\text{État initial}} \otimes \underbrace{f_B(x_2, Q^2)}_{\text{État initial}} \otimes \underbrace{\sigma_{a,b \rightarrow k, X}(x_1, x_2, Q^2)}_{\text{Diffusion dure}} \otimes \underbrace{D_{c \rightarrow D^0}(x_H, Q^2)}_{\text{Fragmentation}}$$

Population du charme ouvert :



I. D - Détecteur ALICE

Inner Tracking System

3 x 2 couches de silicium

Time Projection Chamber

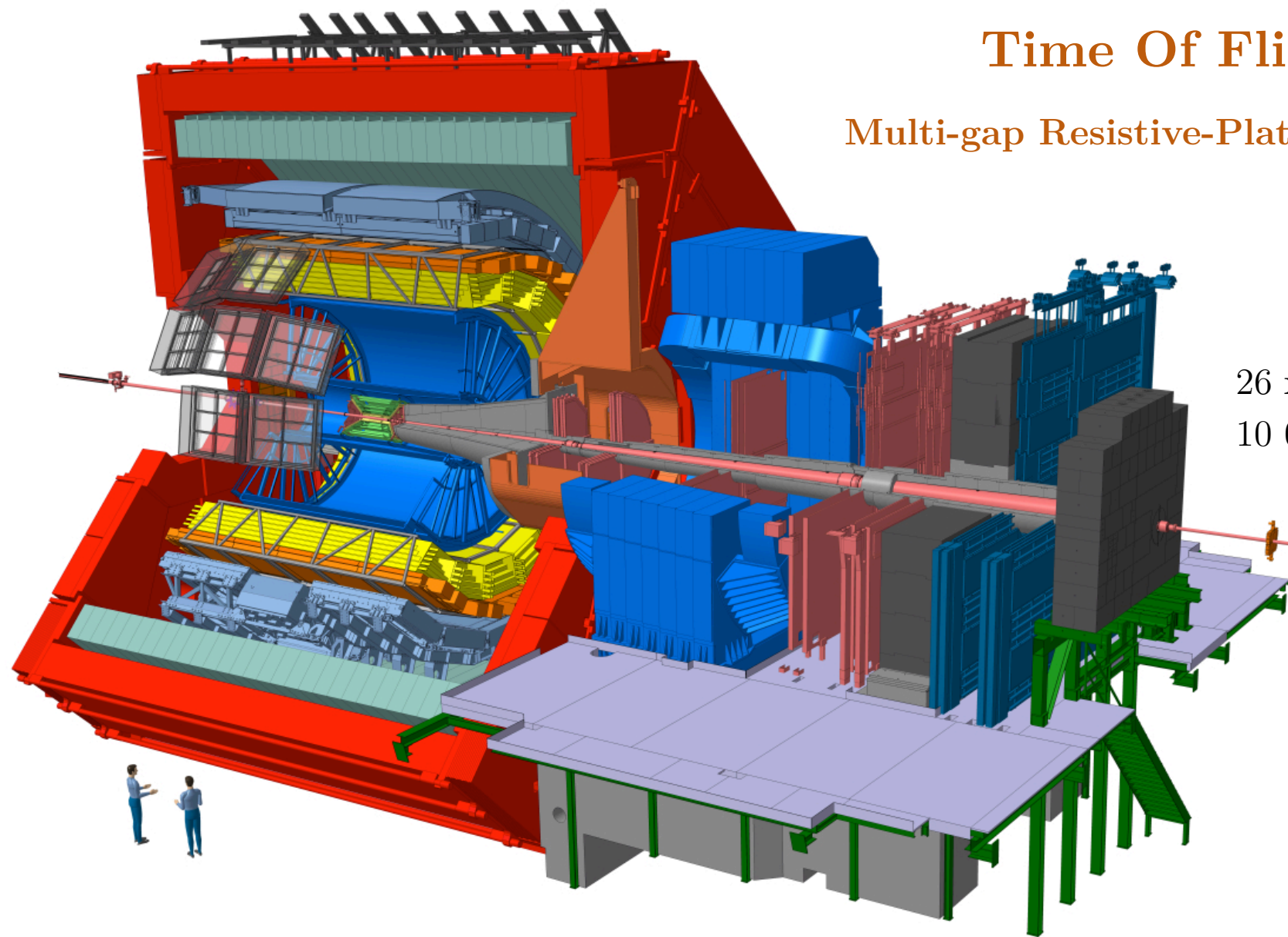
Volume de 90 m³
de gaz

2 x 18 plans de lecture

Time Of Flight

Multi-gap Resistive-Plates Chamber

26 x 16m
10 000 tonnes



Rôles essentiels

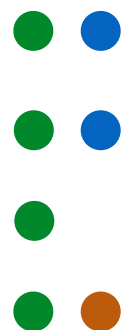
- Reconstruction des trajectoires des particules

$$0.1 < p_T < 50 - 80 \text{ GeV}/c$$

- Mesure de l'impulsion

- Reconstruction des vertex

- Identification



Particularités

- Faible budget de matière (12-13% X₀, ITS+TPC)
- Champ \vec{B} ($\sim 0.5 \text{ T}$)
- Particules identifiées de basses impulsions
($> 100 \text{ MeV}/c$)

Plan

I - Motivations

- A. Le Plasma de Quarks et de Gluons
- B. Collisions proton-proton
- C. LHC et détecteur ALICE

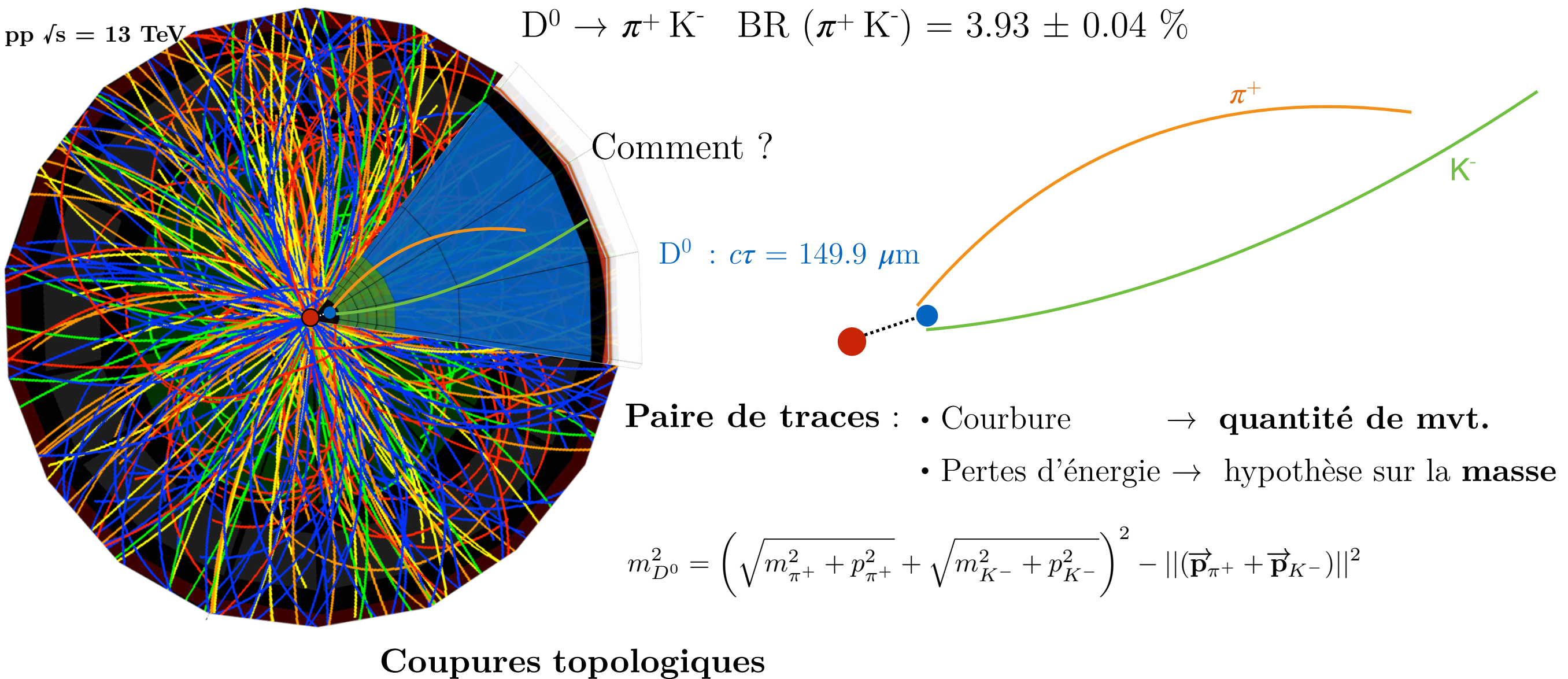
II - Travail réalisé

Objectif : **Mesure de la section efficace de production des mésons D^0 dans les collisions proton-proton au LHC (Run II)**

Conclusion et perspectives

II. A - Identification des candidats D^0

Reconstruction topologique et sélection



Données

$480 \cdot 10^6$ de collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV (année 2016)

$50 \cdot 10^6$ de collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV générées par Monte Carlo

II. B - Section efficace expérimentale

$$\left. \frac{d^2 \sigma^{D^0}}{dp_T dy} \right|_{|y| < 0.5} = \frac{1}{\Delta p_T \Delta y} \frac{f_{prompt}(p_T) \cdot \frac{1}{2} N_{raw}^{D^0 + \bar{D}^0}(p_T)}{[Acc.Eff]_{prompt}(p_T) \cdot BR \cdot L_{int}}$$

$$BR(\pi^+ K^-) = 3.93 \pm 0.04 \%$$

$$L_{int} = 8.6 \pm 0.4 \text{ nb}^{-1}$$

Étapes de l'analyse

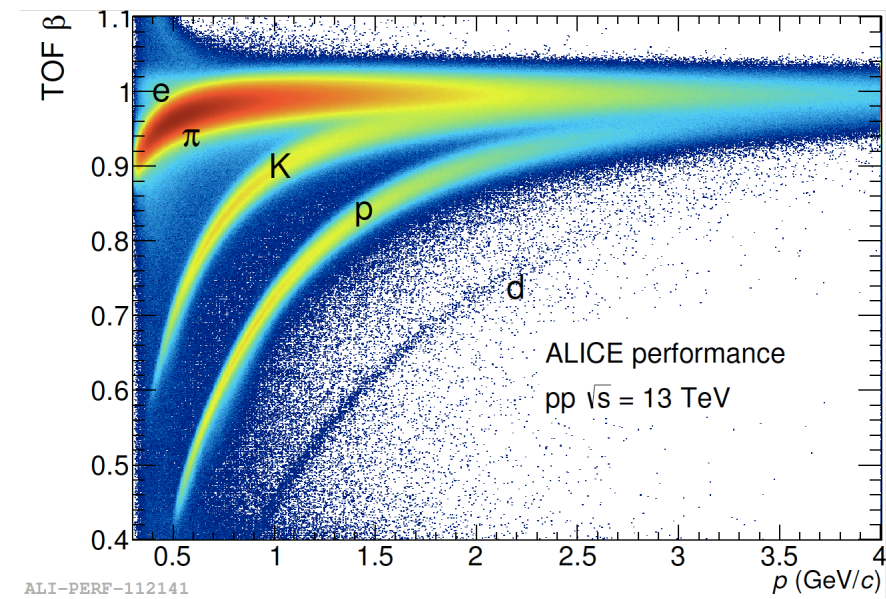
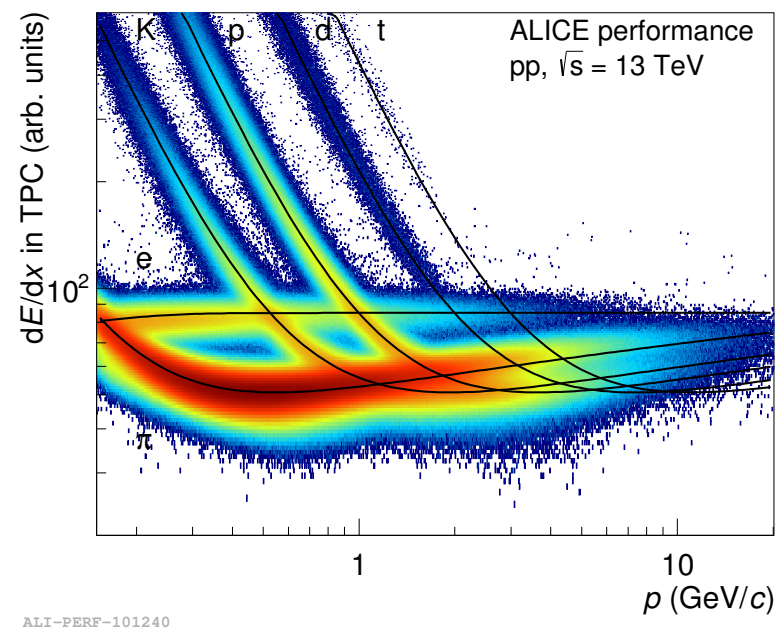
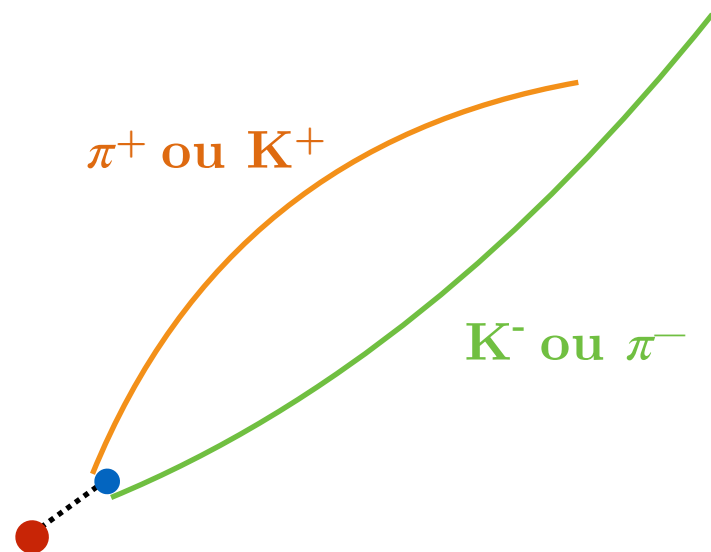
I. Valeurs centrales

1. Extraction du signal $N_{raw}^{D^0 + \bar{D}^0}(p_T)$

2. Correction $f_{prompt}(p_T)$ $[Acc.Eff]_{prompt}(p_T)$

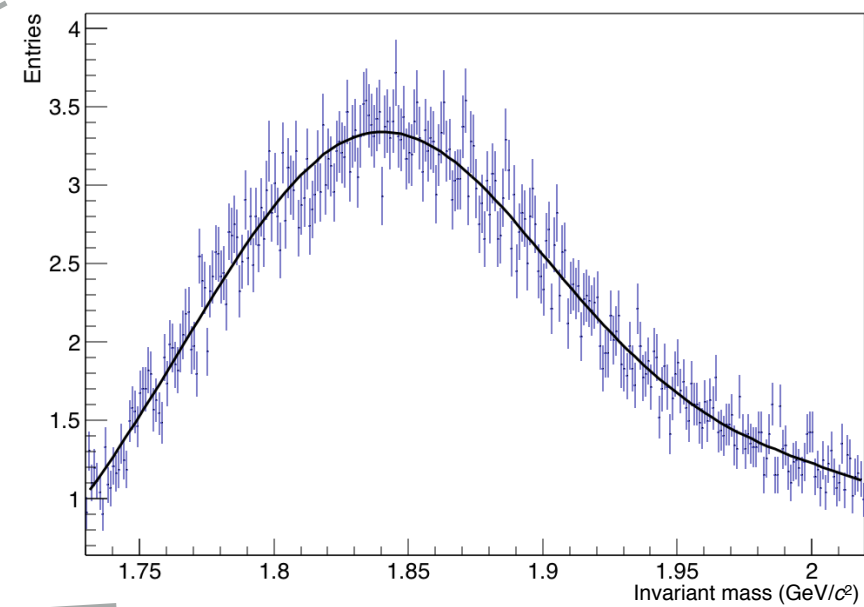
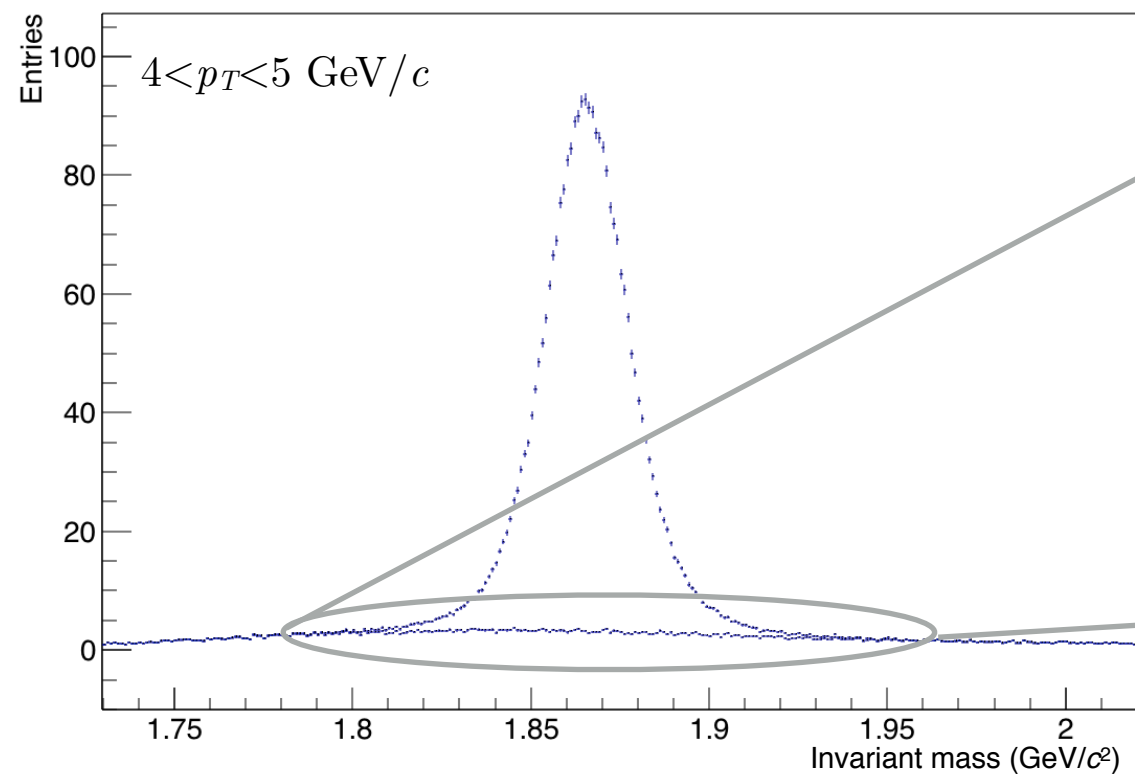
II. Incertitudes systématiques

II. B. a - Extraction du signal : Réflexion du signal



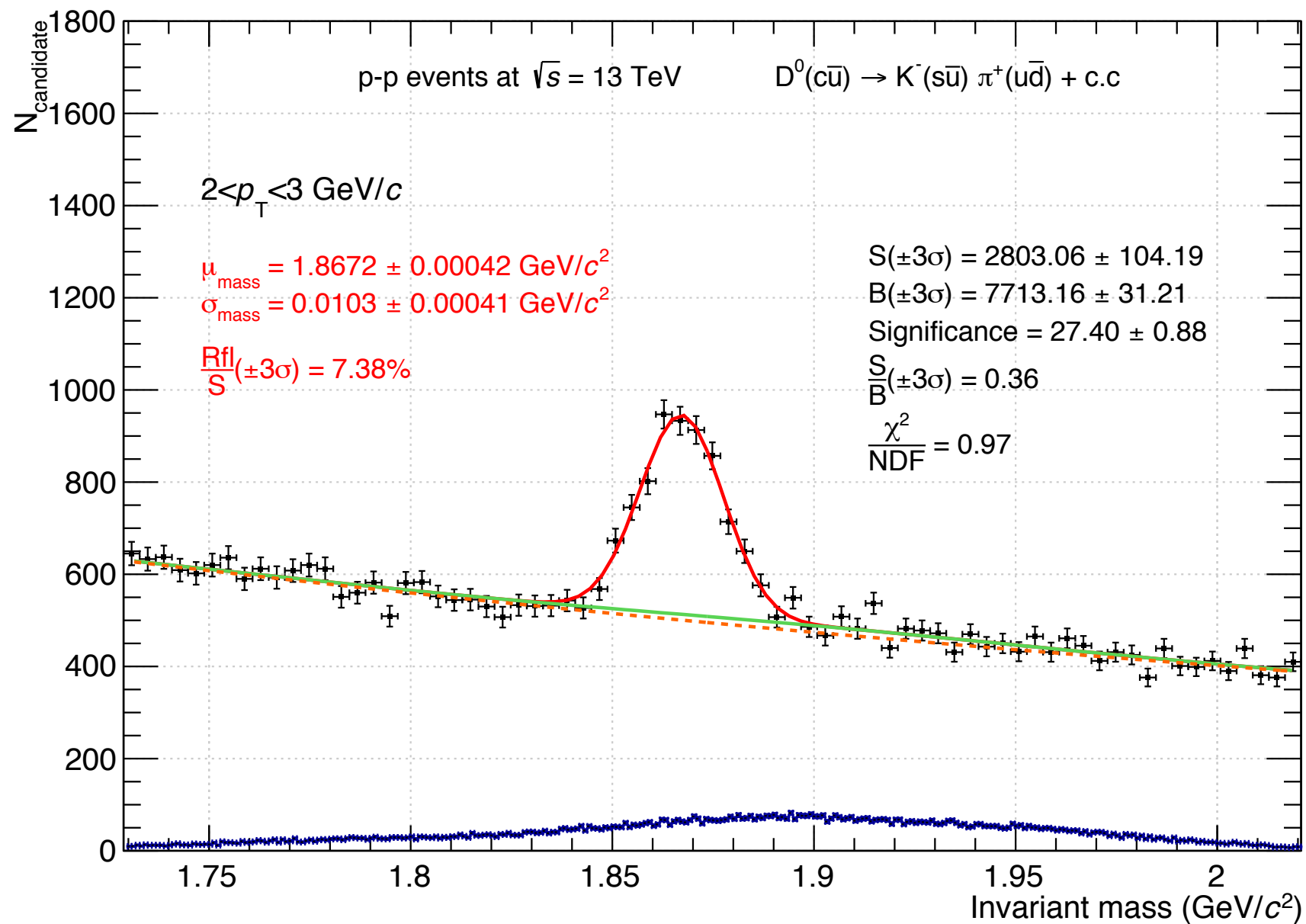
→ double comptage

Étude Monte Carlo



II. B. b - Extraction du signal

Extraction de $N_{raw}^{D^0 + \bar{D}^0}(p_T)$



Legend :

- \blackplus Experimental data
- \blueplus Signal reflected Monte Carlo (x20)
- Gaussian + exponential + reflection fit
- Exponential + reflection fit
- - - Exponential fit

II. B. d - Corrections

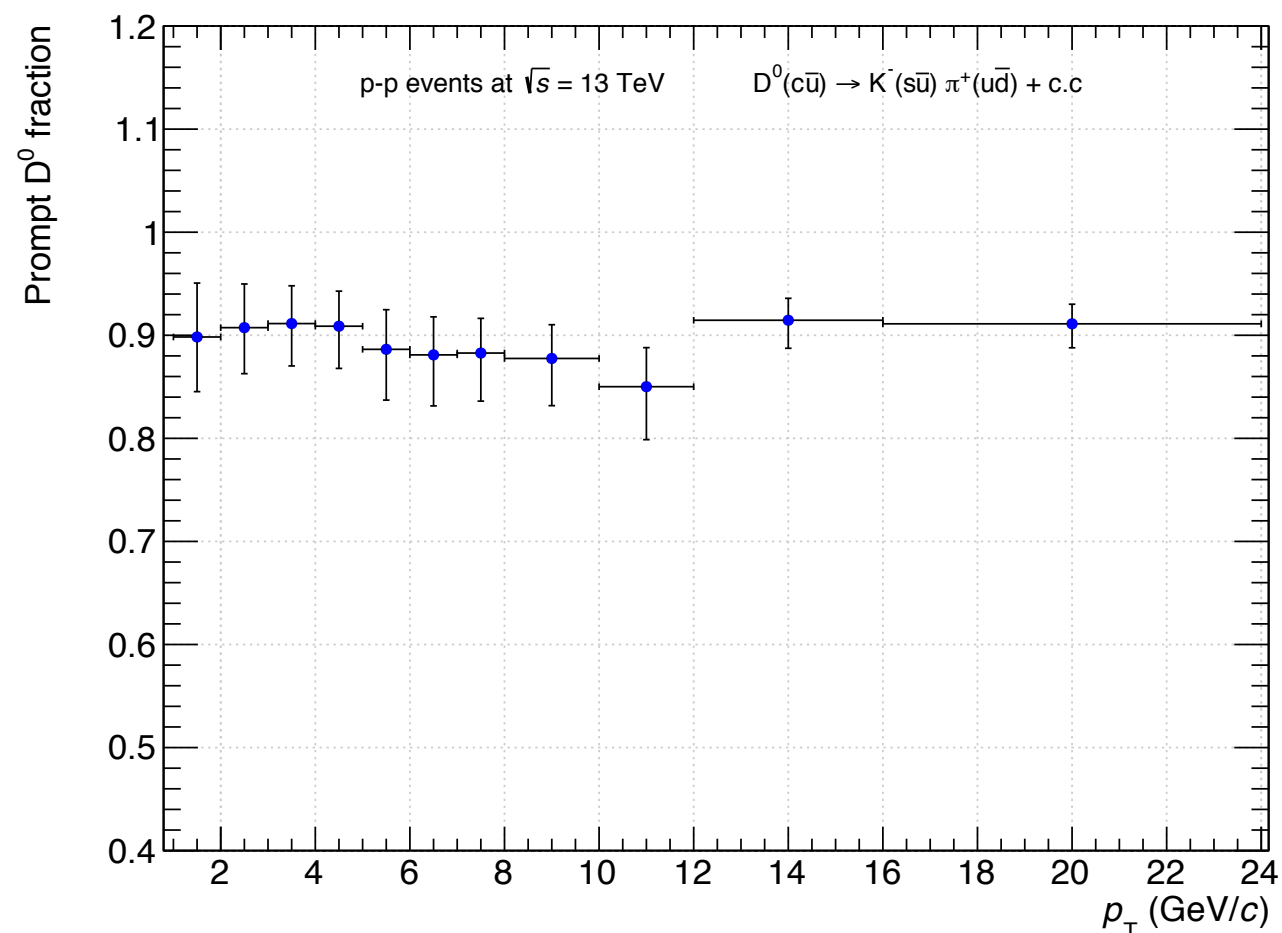
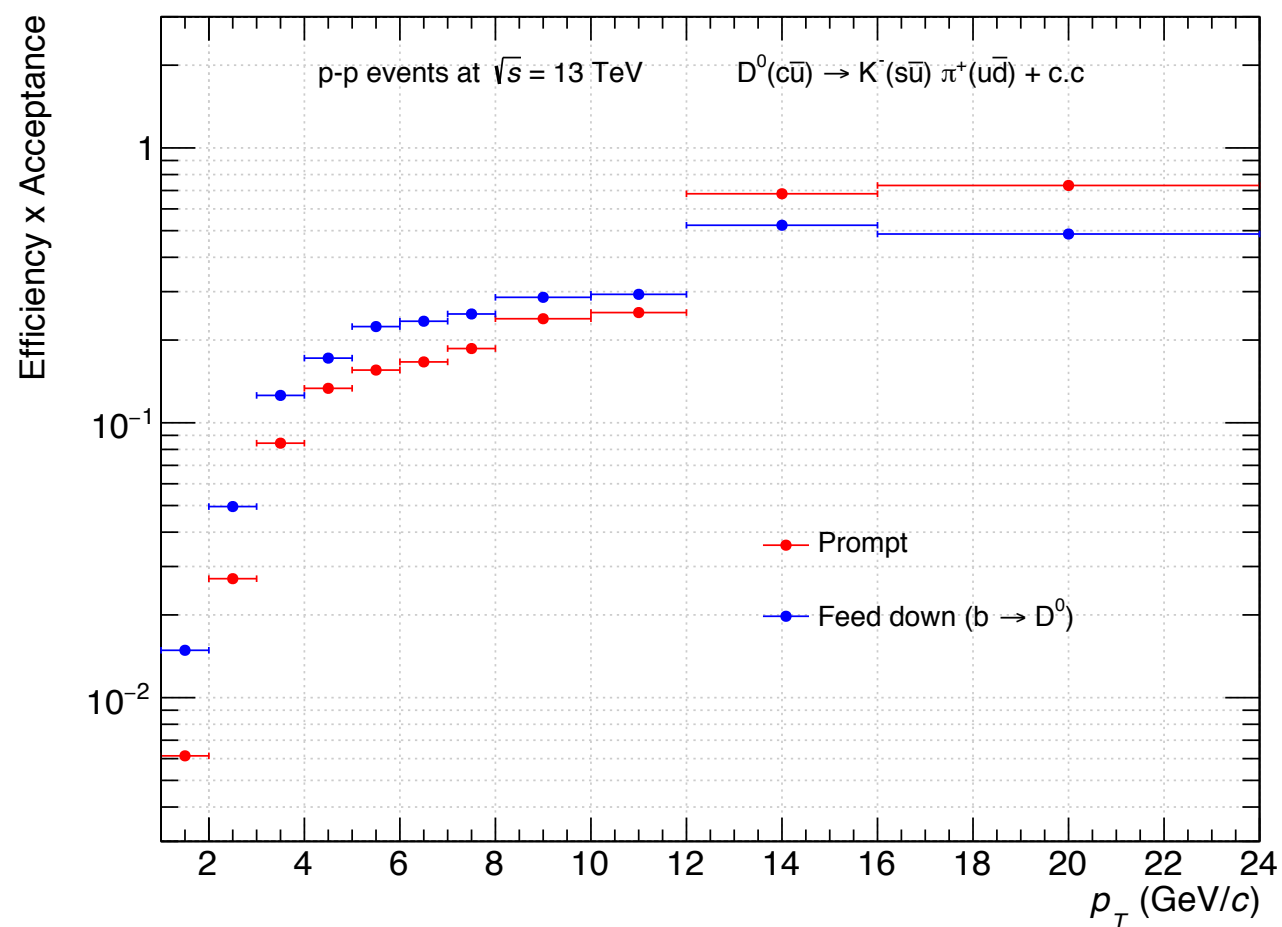
Outils : Simulation Monte Carlo

$$[Acc. Eff]_{prompt}(p_T)$$

$$\frac{N_{reconstruits}^{D^0 + \bar{D}^0}(p_T)}{N_{g\u00e9n\u00e9r\u00e9s}^{D^0 + \bar{D}^0}(p_T)}$$

$$f_{prompt}(p_T)$$

$$1 - \frac{N_{raw}^{D^0 + \bar{D}^0, FD}(p_T)}{N_{raw}^{D^0 + \bar{D}^0}(p_T)}$$



II. B. e - Incertitudes systématiques

Objectif : Étudier les **biais introduits** par notre **méthode d'analyse**.

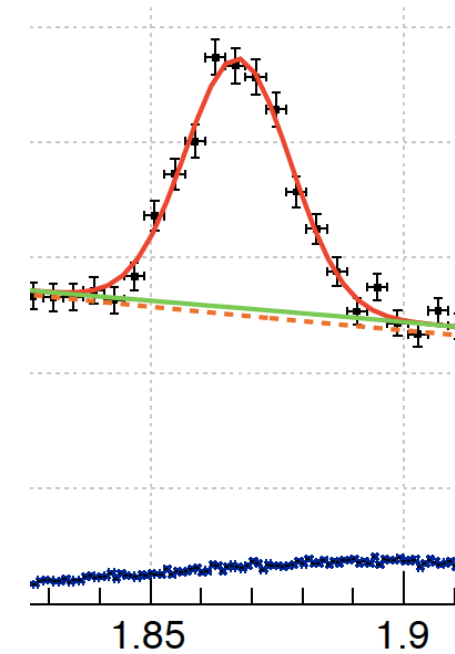
Sources de biais :

- a) Extraction du signal
- b) Coupures topologiques de sélection
- c) Identification des particules filles

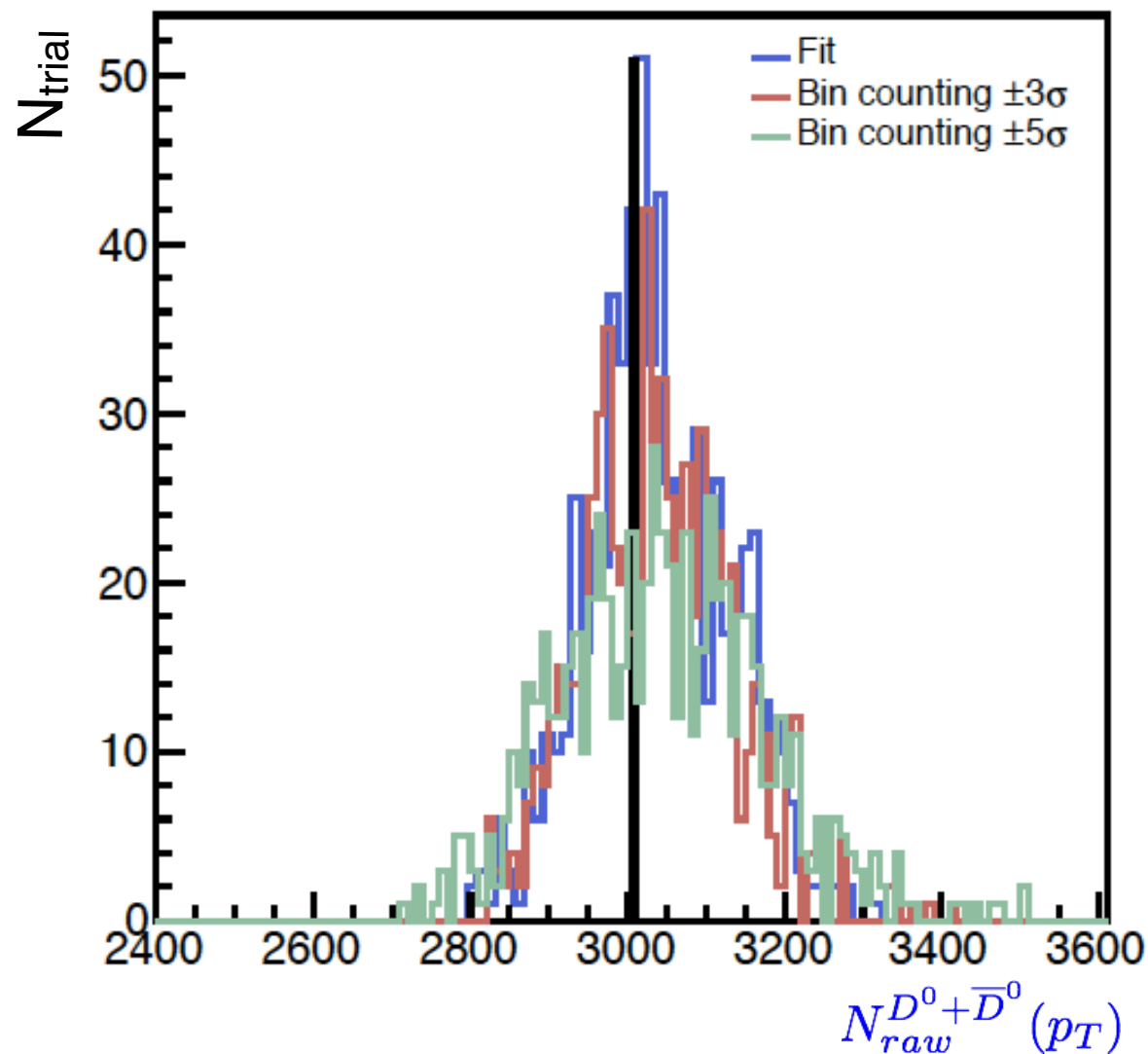
Démarche : **Variations** → **Paramètres** + **Amplitudes** de variation

II. B. e - Incertitudes systématiques : Extraction du signal

- Paramètres :
- Ajustement, \int : 4 fonctions : ae^{-bx} , linéaire, pol. ordre 2 et 3
25 intervalles
5 binning
moyenne libre/fixée
 - Bin counting, Σ : 3 et 5 σ



4000 extractions par bin en p_T



$p_T \in [2, 3] \text{ GeV}/c$

Mean (Fit) = 3039.98

Std. deviation (Fit) = 91.02 (2.99%)

Mean (Bin counting $\pm 3\sigma$) = 3041.12

Std. deviation (Bin counting $\pm 3\sigma$) = 96.91 (3.19%)

Mean (Bin counting $\pm 5\sigma$) = 3043.24

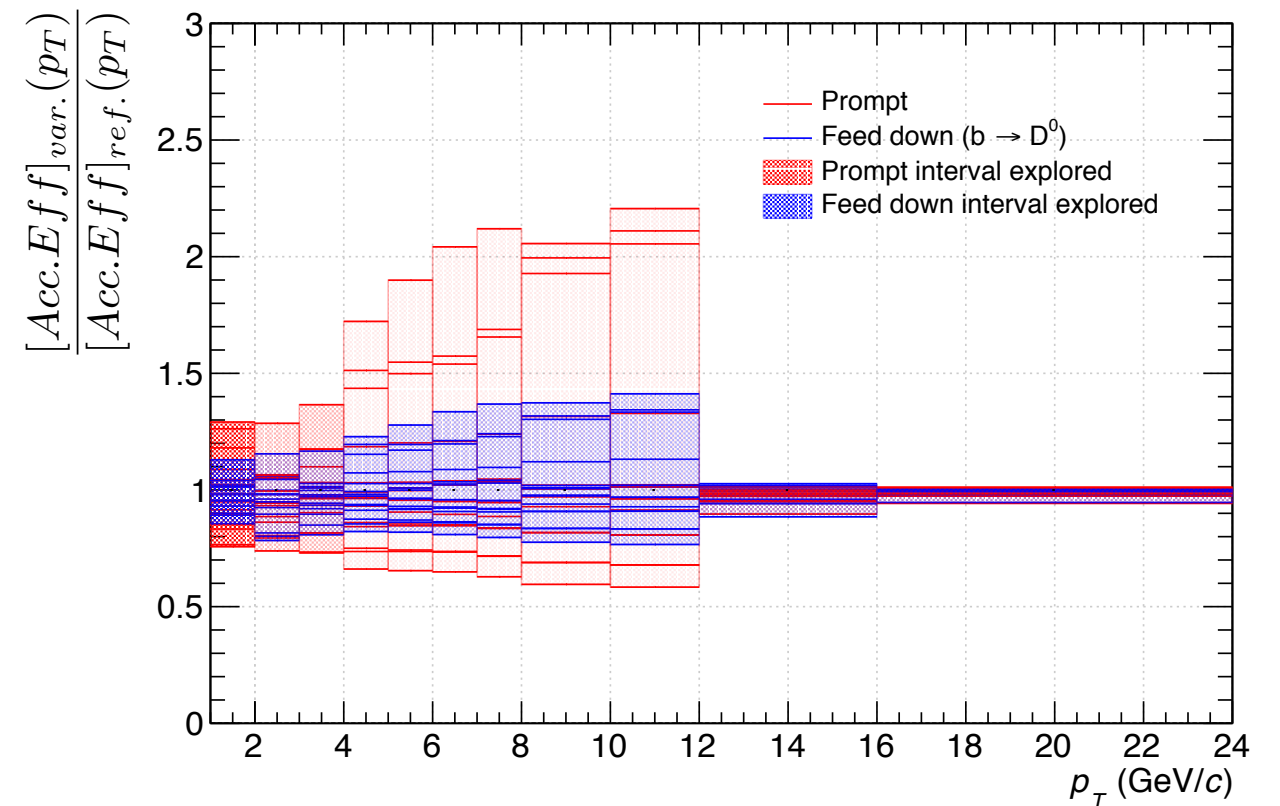
Std. deviation (Bin counting $\pm 5\sigma$) = 130.01 (4.27%)

II. B. e - Incertitudes systématiques : Coupures topologiques

Paramètres :

- Coupures de références
- 15 variations

→ Influence sur la sélection des candidats D^0



2 ensembles **A** et **B**
de candidats



→ Fortes corrélations



Test statistique de Barlow :

- Indicateur du poids des fluctuations statistiques :
- Test statistique (indice de confiance 95.45%)
- Recherche de biais

$$x_{Barlow} = \frac{\frac{d^2 \sigma^{D^0}}{dp_T dy} - \frac{d^2 \sigma^{D^0}}{dp_T dy} (ref.)}{\sqrt{|\sigma_{stat}^2 - \sigma_{stat}^2 (ref.)|}}$$

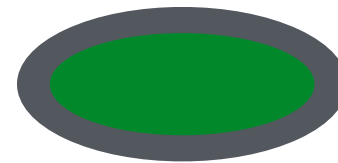
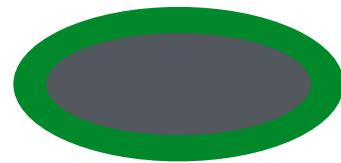
II. B. e - Incertitudes systématiques : Coupures topologiques

Paramètres :

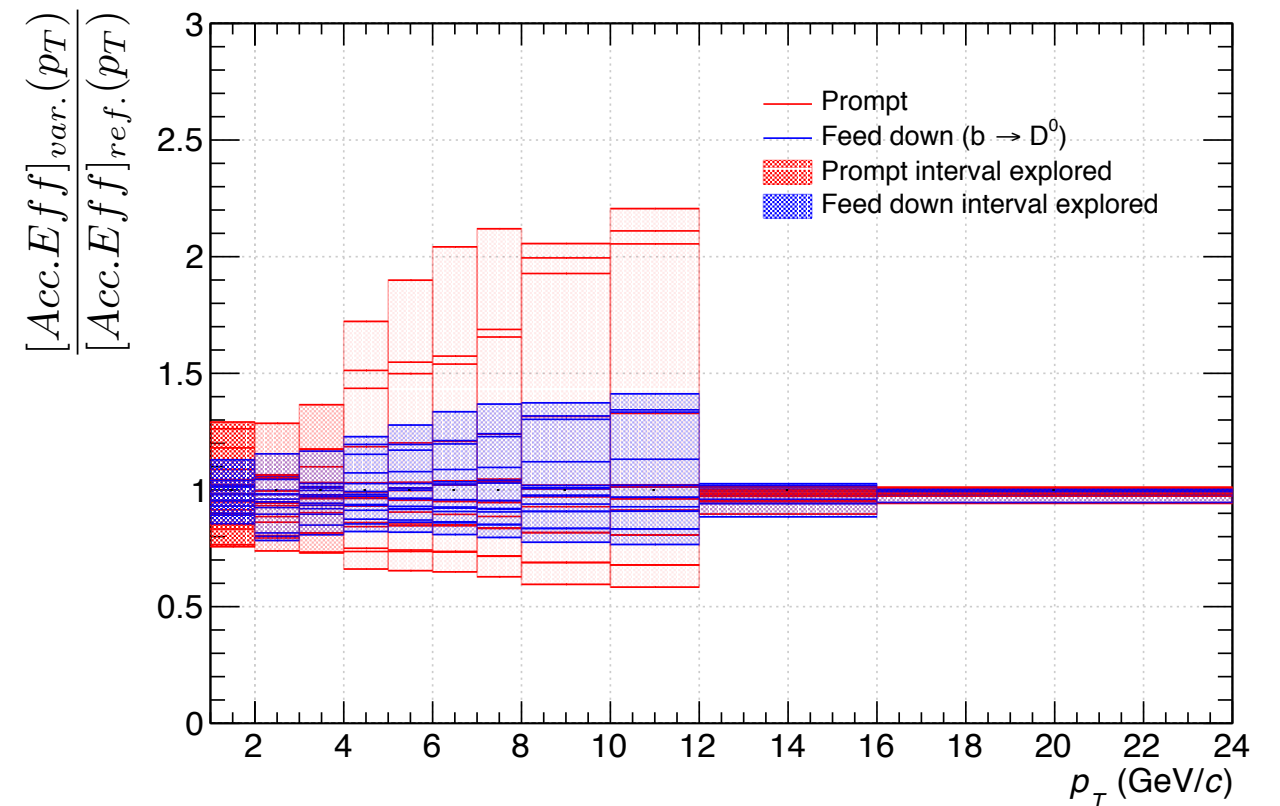
- Coupures de références
- 15 variations

→ Influence sur la sélection des candidats D^0

2 ensembles **A** et **B**
de candidats



→ Fortes corrélations



Test statistique de Barlow :

- Indicateur du **poids des fluctuations statistiques** :
- Test statistique (indice de confiance 95.45%)
- Construction de l'incertitude

$$x_{Barlow} = \frac{\frac{d^2\sigma^{D^0}}{dp_T dy} - \frac{d^2\sigma^{D^0}}{dp_T dy}(ref.)}{\sqrt{|\sigma_{stat}^2 - \sigma_{stat}^2(ref.)|}}$$

II. B. e - Incertitudes systématiques

Autres contributions

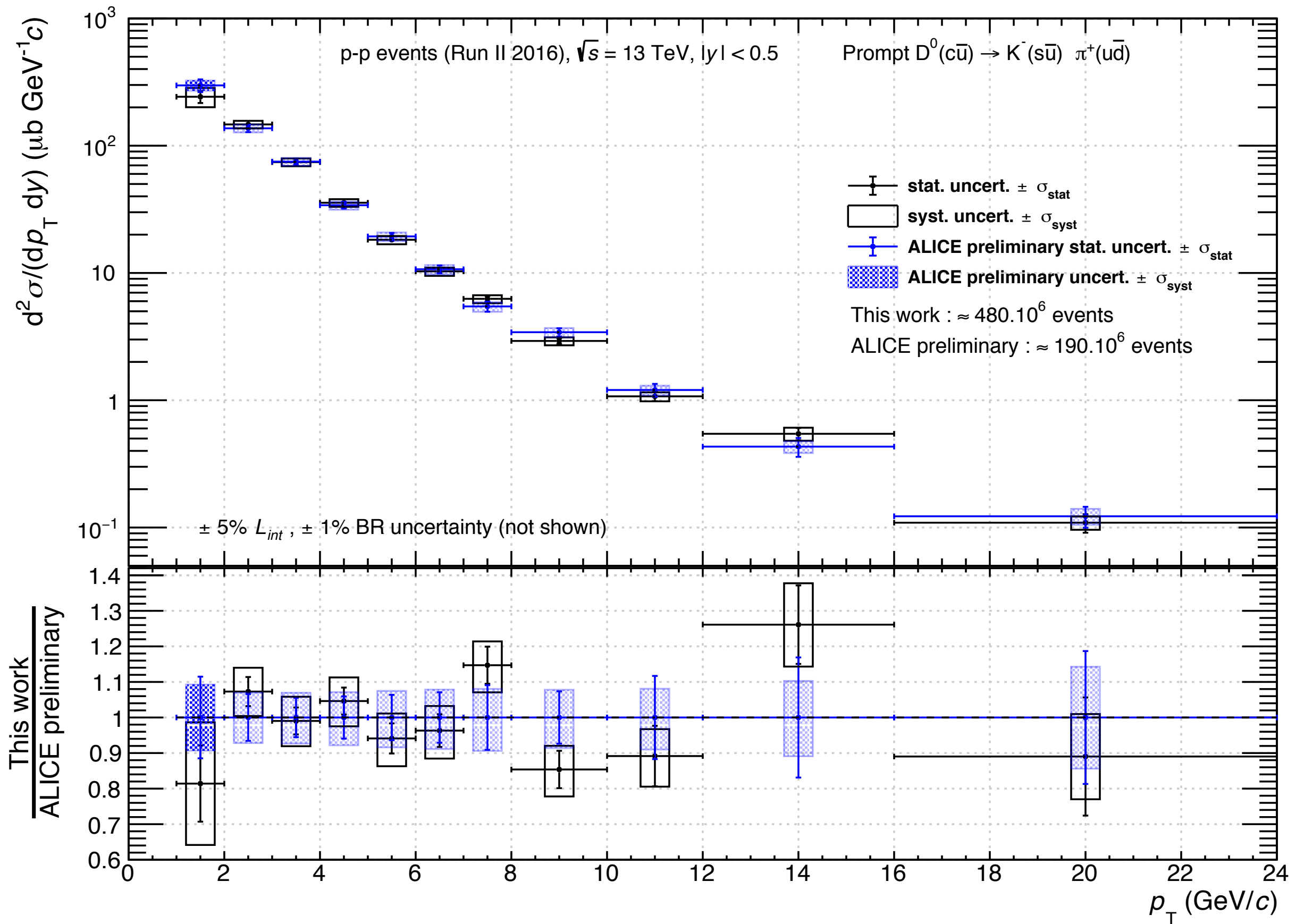
 fait
 à faire

p_T (GeV/c)	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-10	10-12	12-16	16-24
f_{prompt} min (%)	6	5	5	4	6	6	5	5	6	3	2
f_{prompt} max (%)	6	5	4	4	4	4	4	4	4	2	2
Cut variations (%)	15	2	2	2	2	2	2	2	2	8	negl.
Fit extraction (%)	5	3	3	3	3	3	3	3	4	7	11
Reflection (%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
p_T shape (%)	2	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.
PID (%)	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.	negl.
Tracking (%)	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4

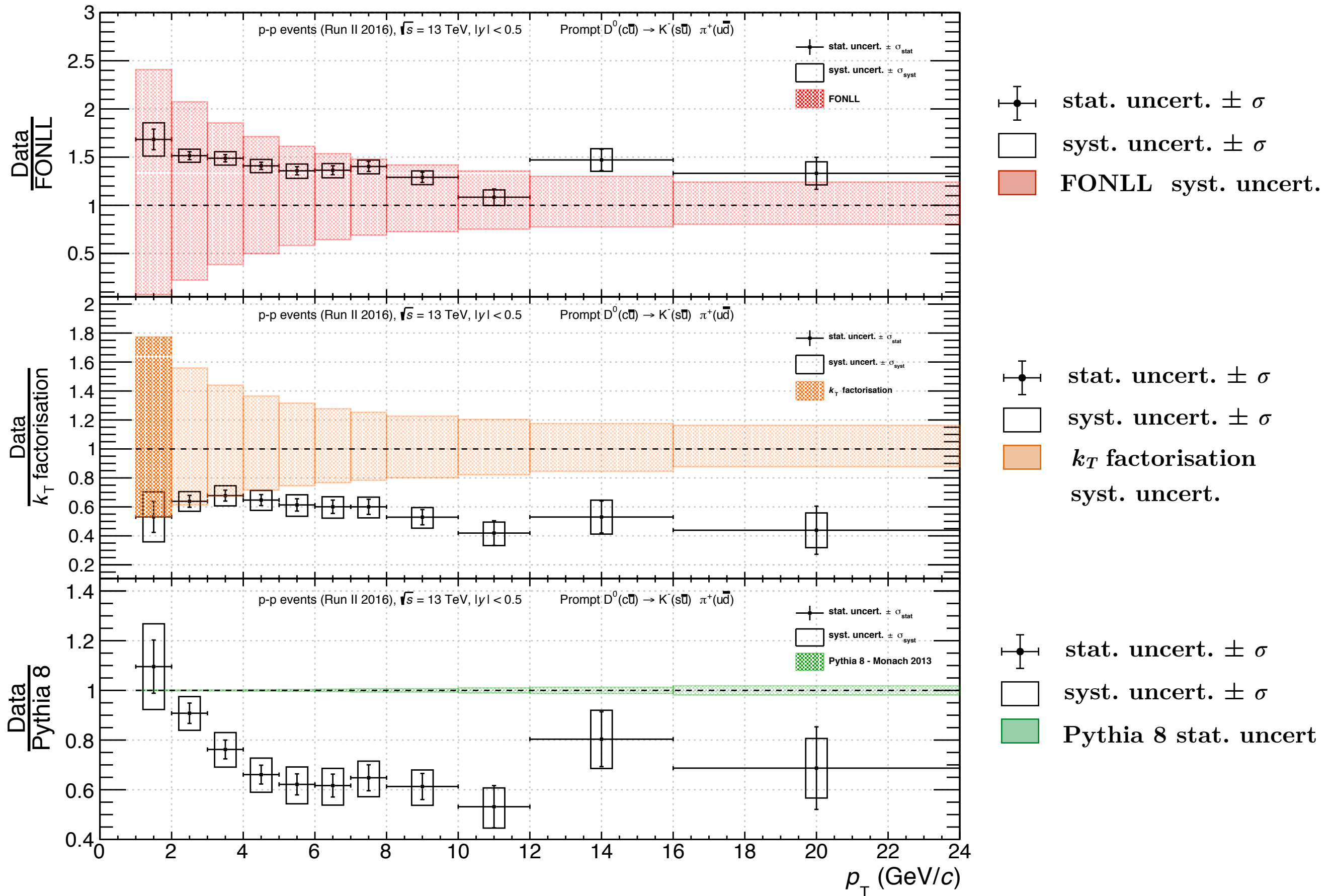
negl. \rightarrow \ll 1%

Erreur totale \rightarrow somme quadratique

II. C - Résultats



II. C - Résultats



Un résultat

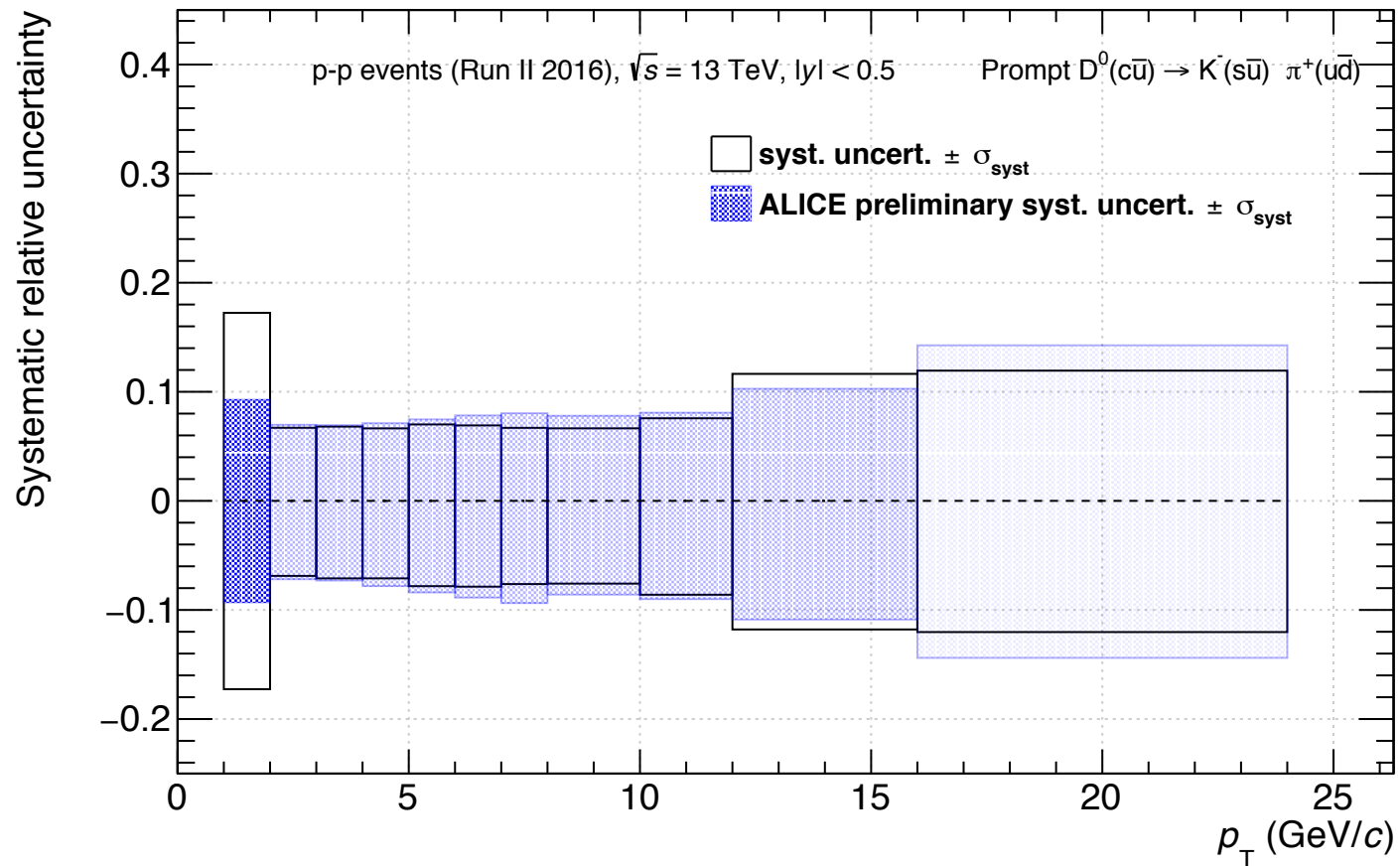
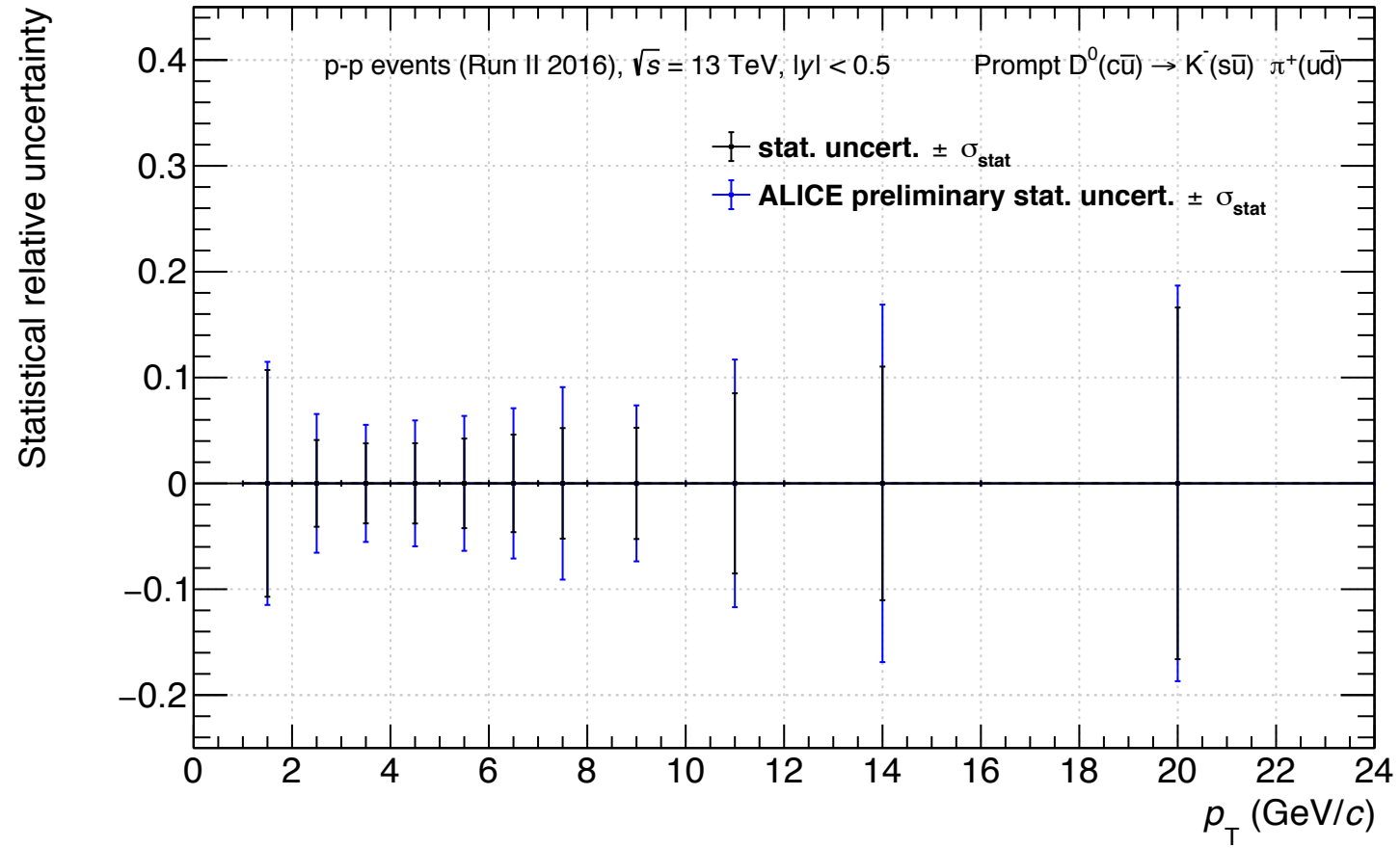
Une mesure de la section efficace de production des mésons D^0 dans les collisions pp à $\sqrt{s} = 13$ TeV

Un apprentissage

- Réalisation
 - **chaîne d'analyse** de données expérimentales
 - **développement** de code et **prise en main** des outils d'ALICE (AliROOT)
- Familiarisation à la **physique du quark charmé**

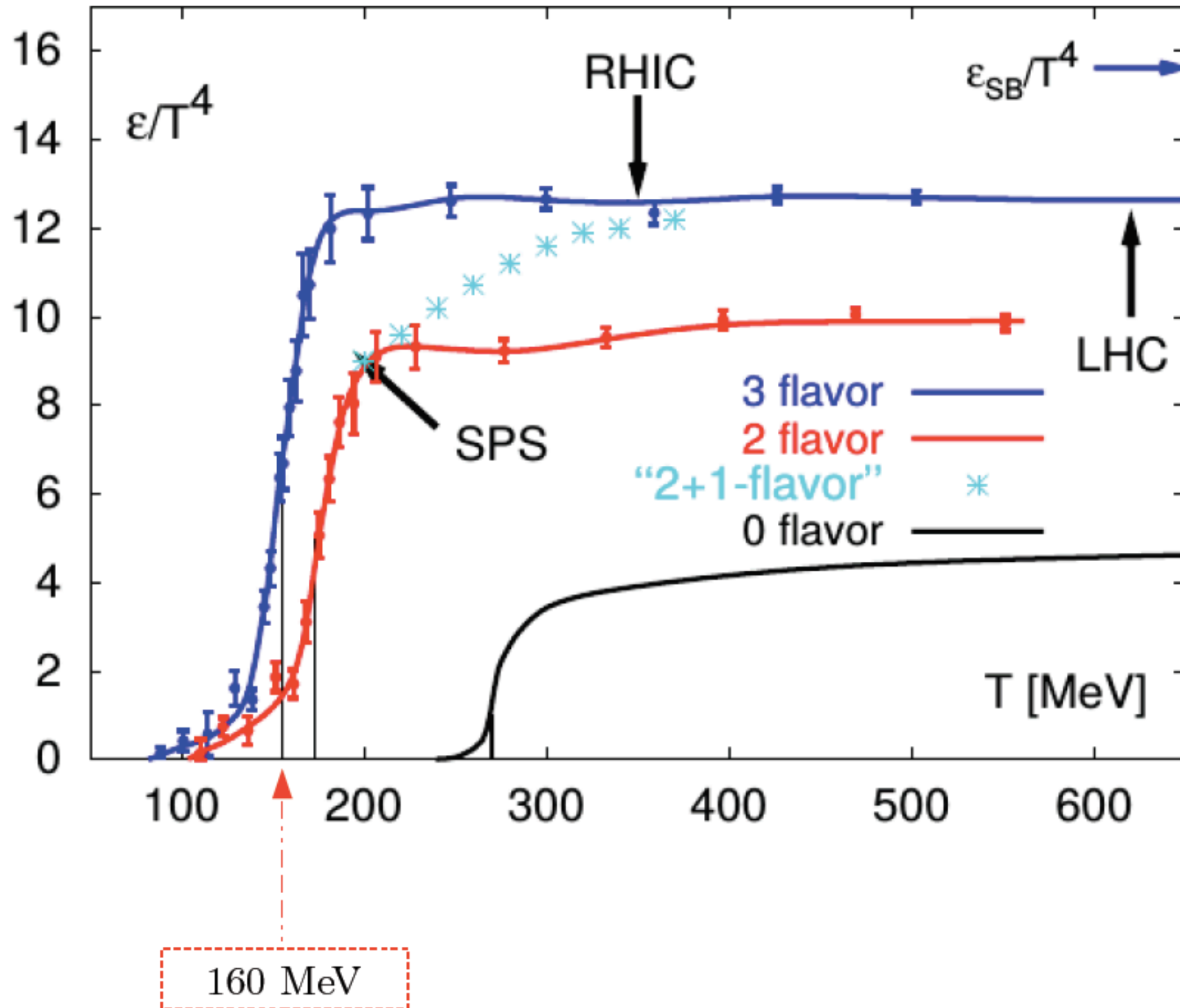
BACKUP

Précision apportée

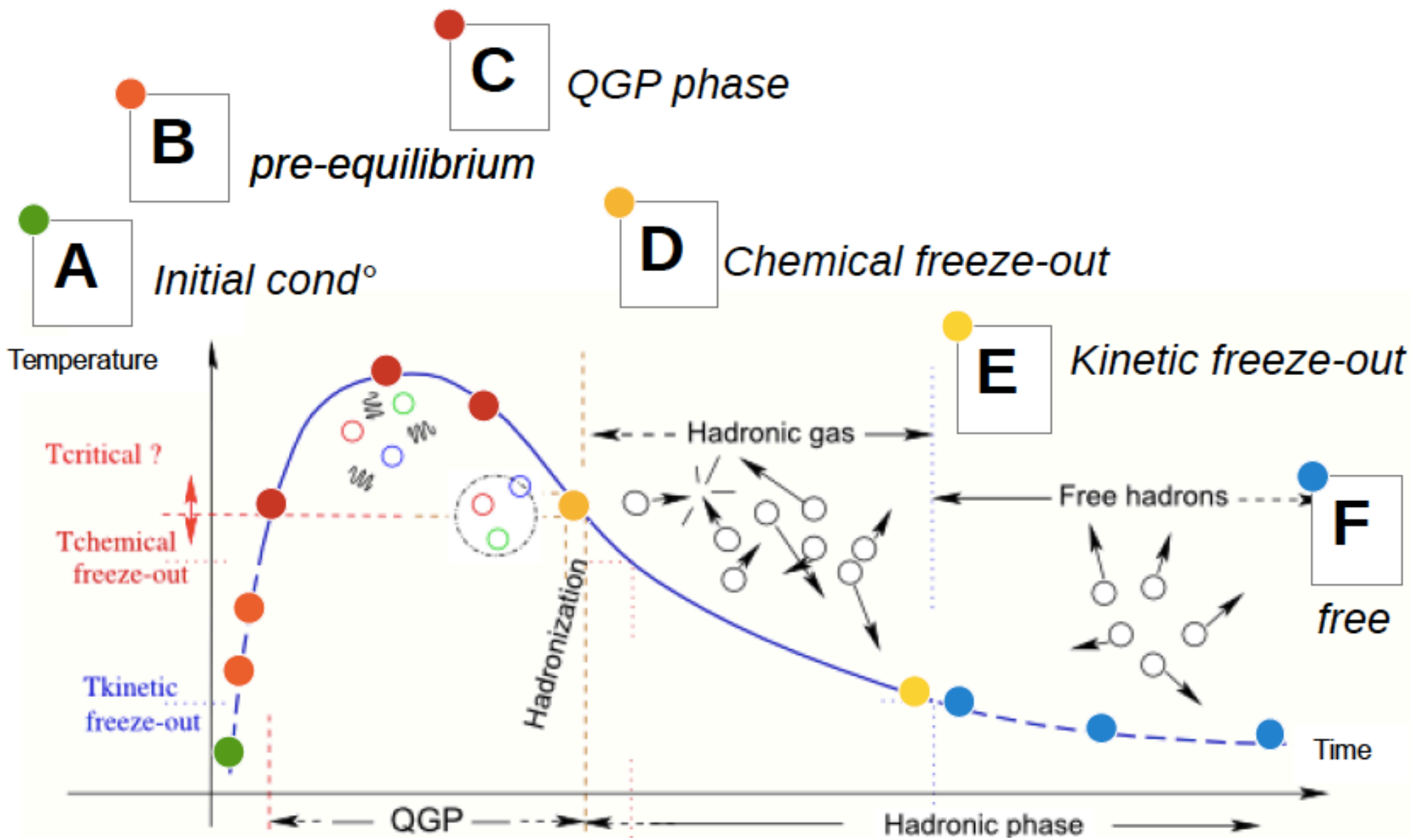
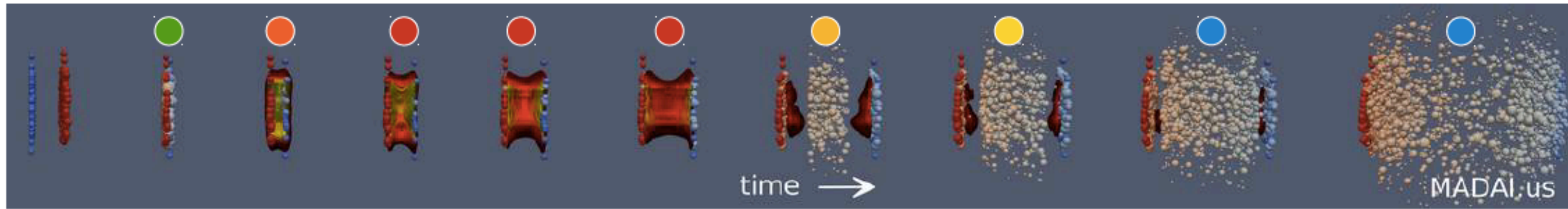


QCD et transition de phase

Calculs de QCD sur réseau → prédiction d'une transition de phase

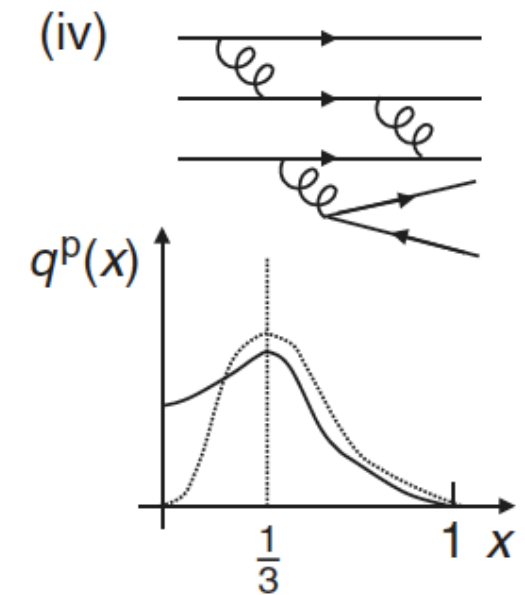
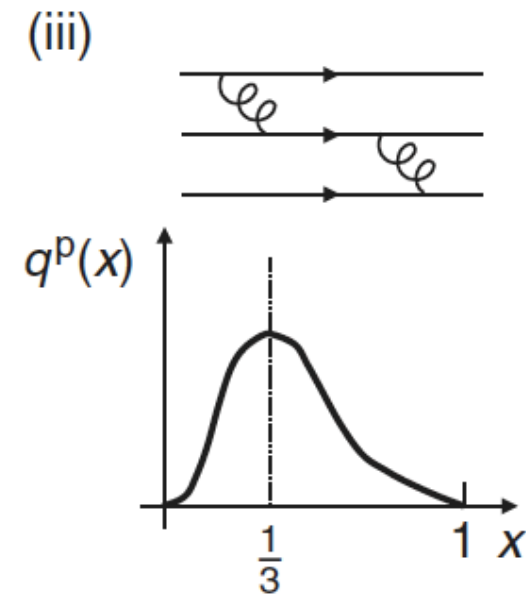
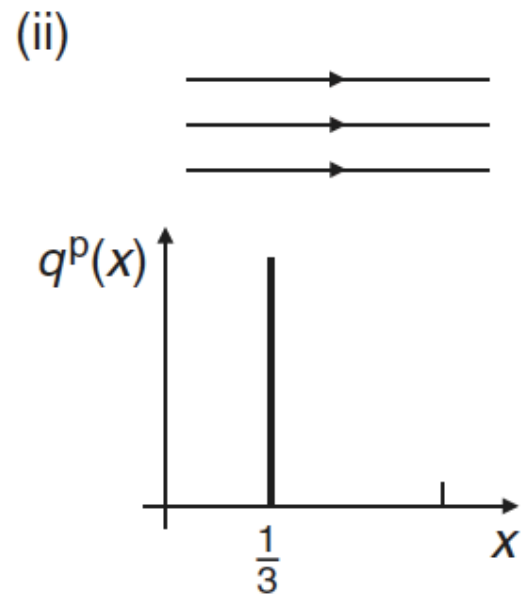
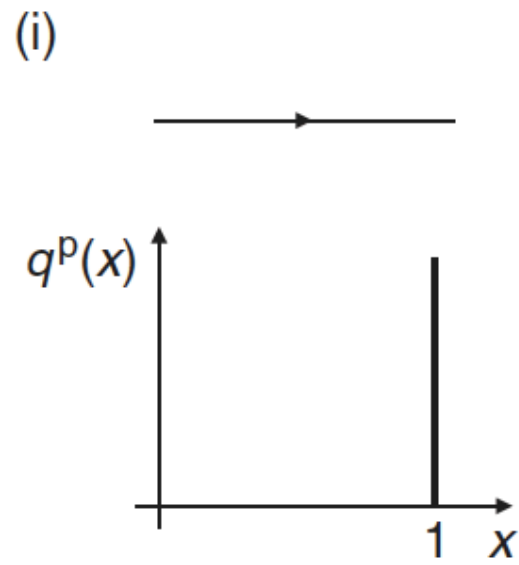
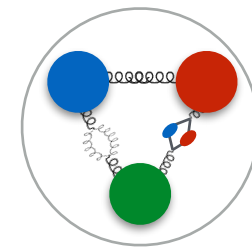
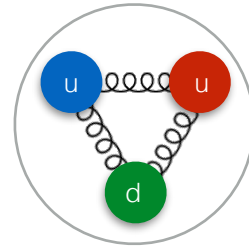
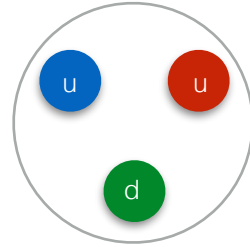
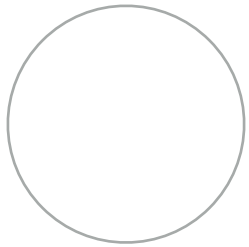


Scénario collision Pb-Pb



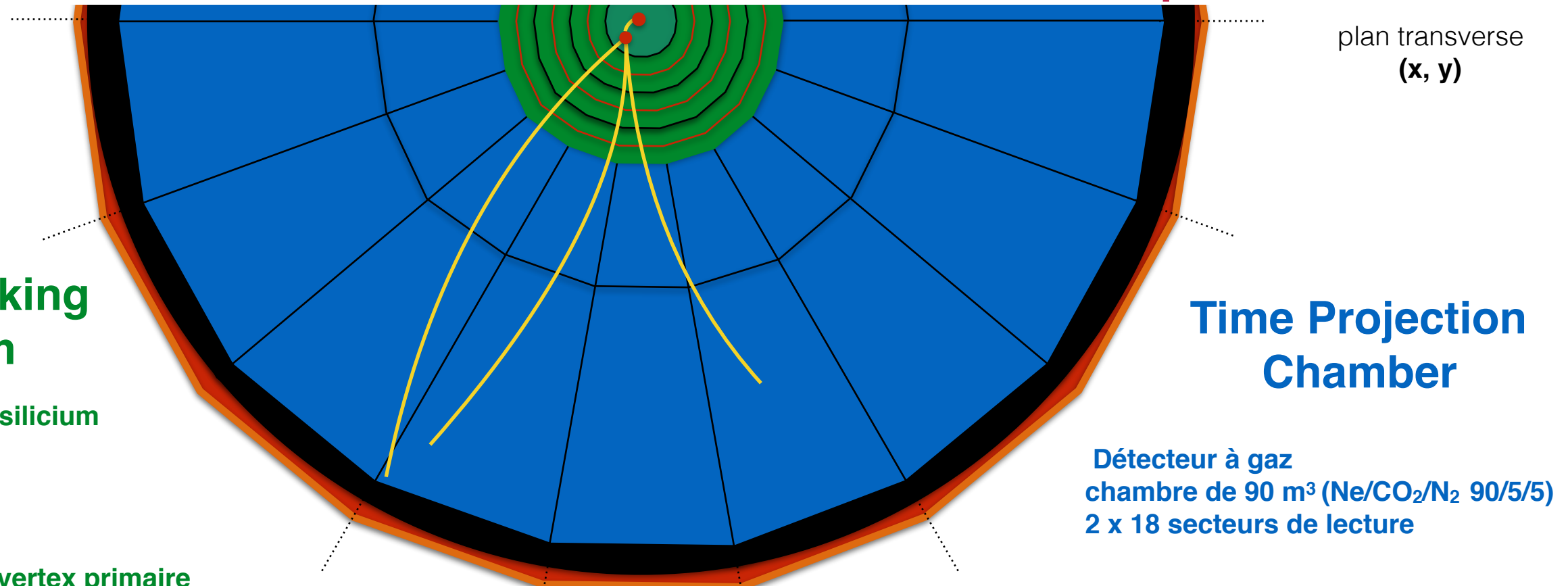
Diffusion inélastique

proton



→ Energie

Détecteur ALICE et reconstruction des particules



Rôles essentiels

- Localisation du vertex primaire
- Identification de particules
- Tracking des particules de faible impulsion ($< 200 \text{ MeV}/c$)
- Amélioration de la détermination de la centralité et de l'impulsion des traces reconstruites
- Reconstruction des traces traversant les zones mortes de la TPC

Rôles essentiels

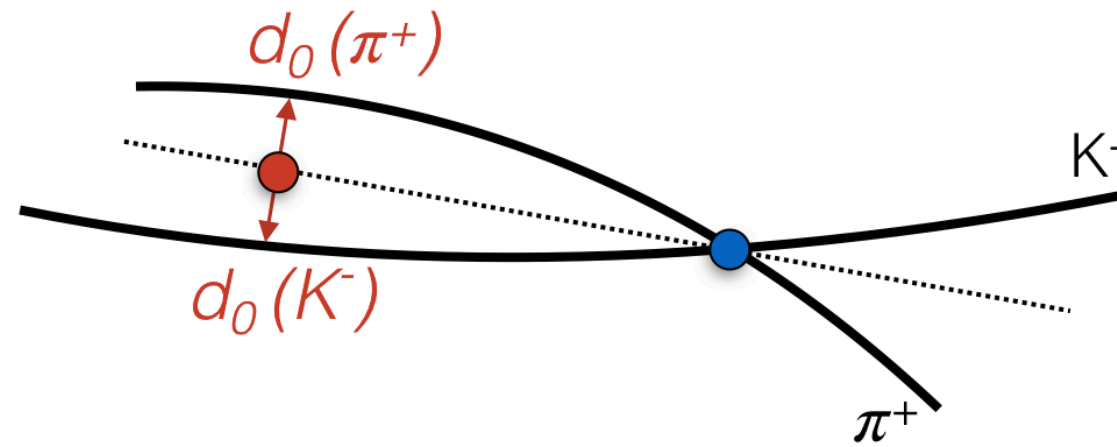
- Reconstruction des traces des particules chargées
- Mesure de l'impulsion des particules chargées
- Reconstruction des vertex primaires et secondaires
- Identification de particules

Reconstruction des traces

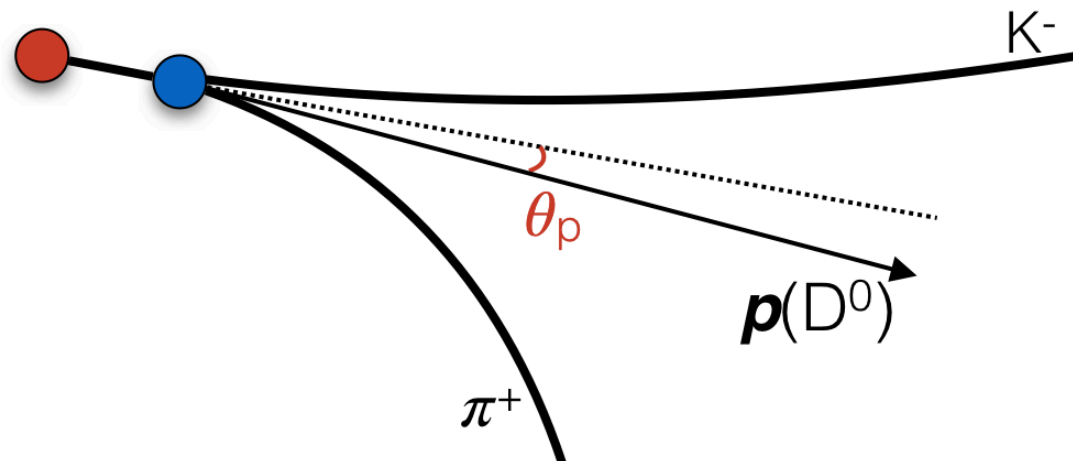
- Recherche de clusters → Point d'espace
- Construction de tracklet → Vertex primaire
- Construction d'une graine (seed) : vertex primaire + point d'espace externe de la TPC
- Extrapolation vers l'extérieur de la TPC
- Reconstruction vers l'intérieur de la TPC

Coupures topologiques

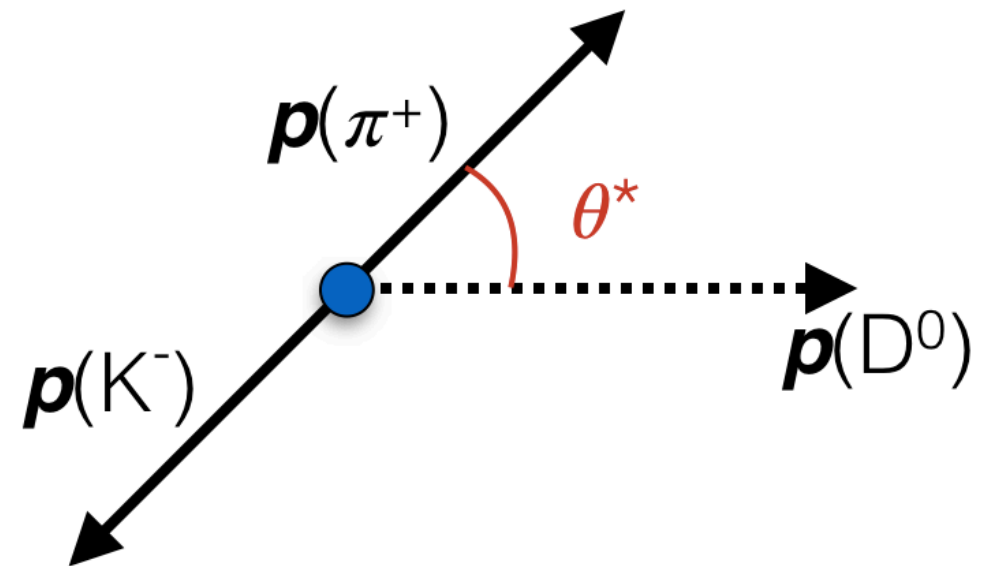
Paramètre d'impact :



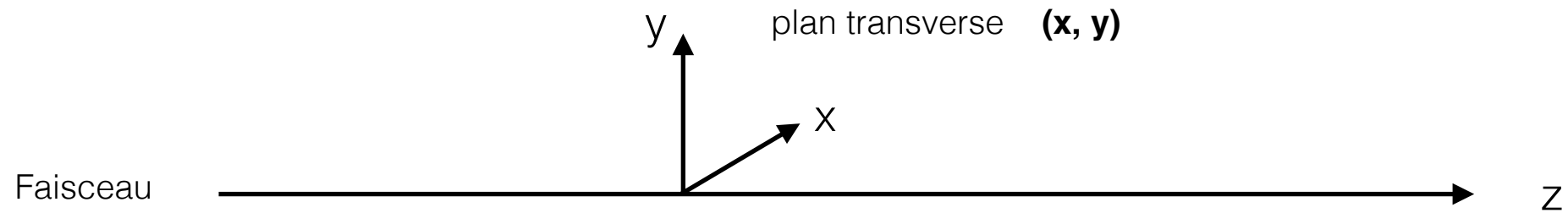
Angle de pointage :



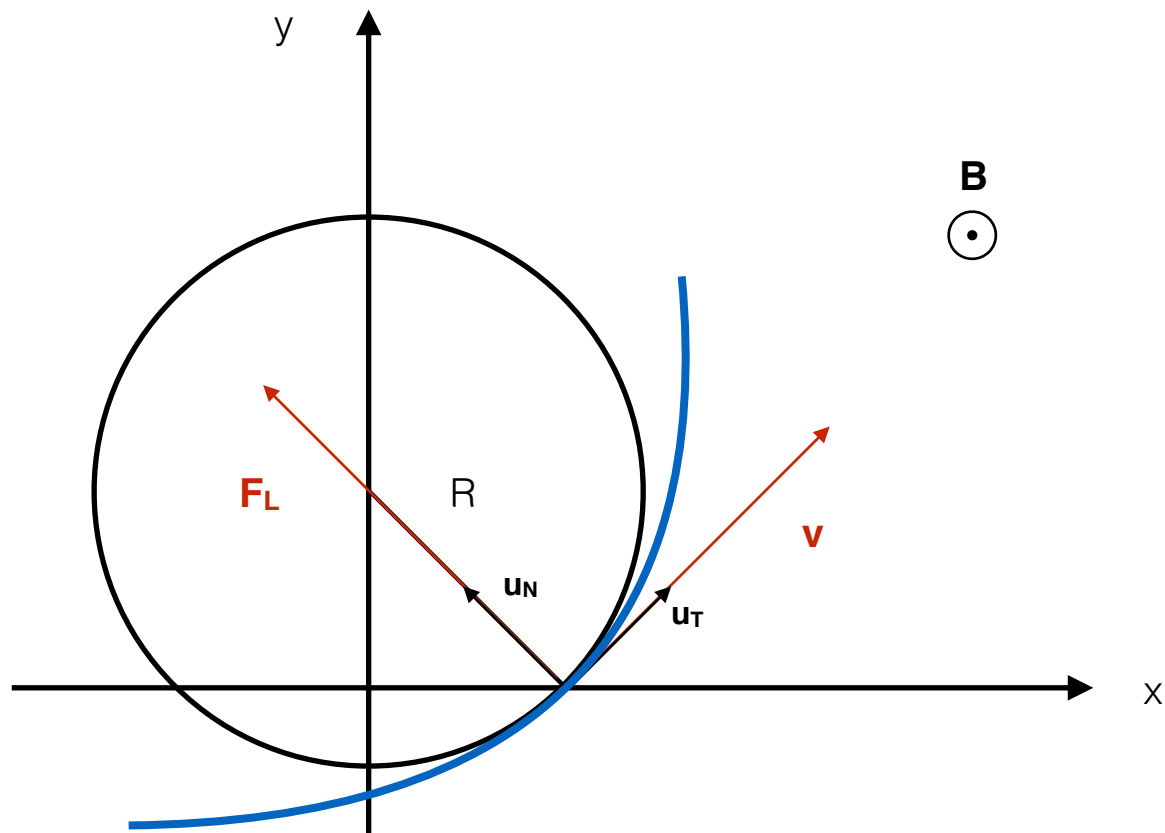
Angle θ^* :



Courbure de la trajectoire → impulsion



Repère de Frenet



$$m \mathbf{a} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

$$m (v \mathbf{u}_T + v^2/R \mathbf{u}_N) = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

projection sur \mathbf{u}_N :

$$m (v^2/R) \mathbf{u}_N = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

$$m (v^2/R) = q v B$$

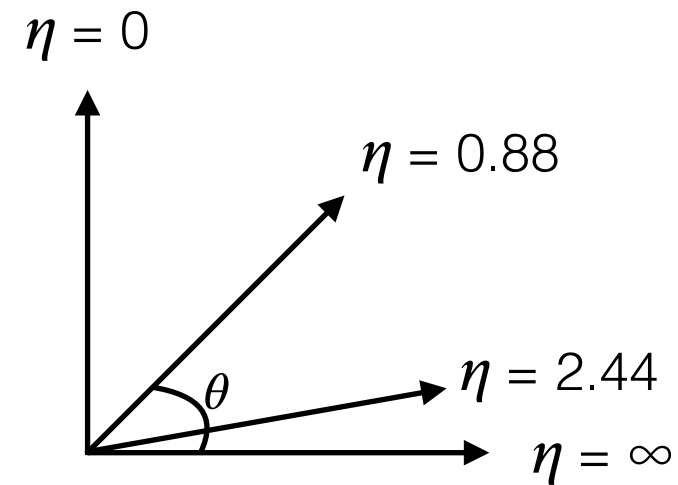
$$\text{Courbure : } 1/R = Bq / mv$$

Définitions

Pseudo rapidité

Coordonnée spatiale qui permet de décrire l'angle entre la trajectoire de la particule et le faisceau :

$$\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$$



Quarks

u $m_u = 2.3^{+0.7}_{-0.5} \text{ MeV}$	c $m_c = 1.275 \pm 0.025 \text{ GeV}$	t $m_t = 173.21 \pm 0.51 \pm 0.71 \text{ GeV}$
d $m_d = 4.8^{+0.5}_{-0.3} \text{ MeV}$	s $m_s = 95 \pm 5 \text{ MeV}$	b $m_b = 4.18 \pm 0.03 \text{ GeV}$