



ALICE

Reconstruction des mésons D^0 et \bar{D}^0 dans des collisions proton- proton à $\sqrt{s} = 5,02$ TeV avec l'expérience ALICE



advancing the frontiers



Stage encadré par Iouri BELIKOV

Plan

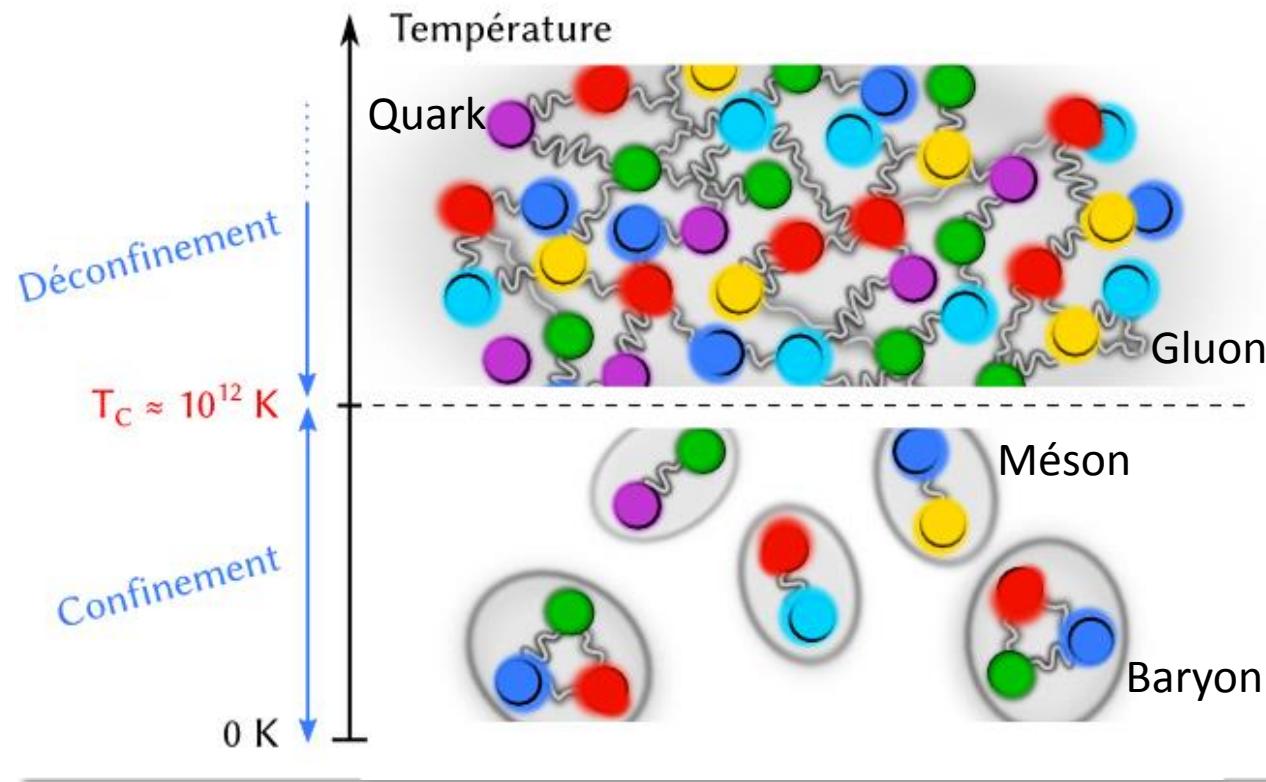
- **Introduction**
 - Le plasma de quarks et gluons
 - L'expérience ALICE
- **Travaux réalisés**
 - Reconstruction des mésons D^0 et \bar{D}^0 , prompts et non-prompts
 - Comparaison entre les mésons prompts et non-prompts
- **Conclusion et perspectives**

Plan

- **Introduction**
 - Le plasma de quarks et gluons
 - L'expérience ALICE
- **Travaux réalisés**
 - Reconstruction des mésons D^0 et \bar{D}^0 , prompts et non-prompts
 - Comparaison entre les mésons prompts et non-prompts
- **Conclusion et perspectives**

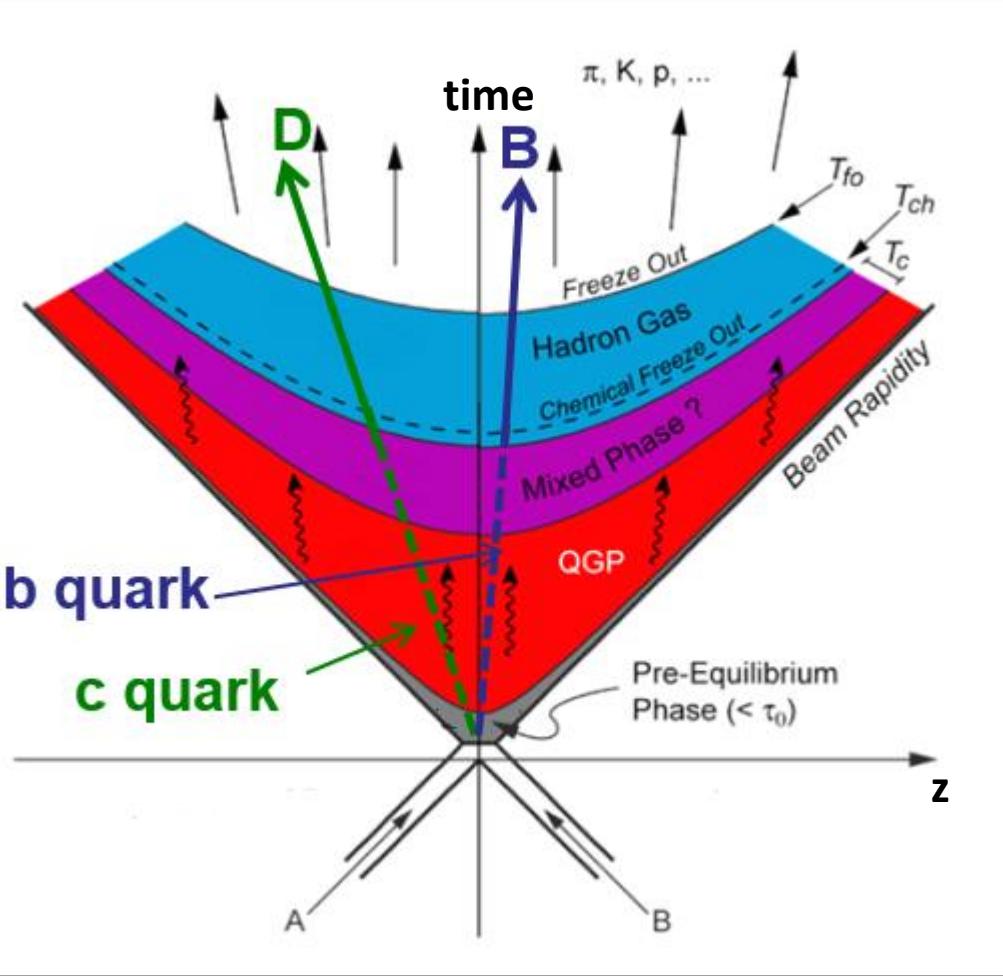
Le plasma de quarks et gluons

- État de la matière où les quarks et les gluons ne sont plus confinés dans des états liés (baryon, méson)
- La température critique est prédite par la chromodynamique quantique : $T_c \approx 154$ MeV
- Cet état très dense et chaud aurait prévalu juste après le Big Bang (quelques μ s)



La physique des saveurs lourdes

Le scénario de Bjorken décrit l'évolution spatio-temporelle d'une collision d'ions lourds :



La physique des saveurs lourdes (quarks charmés c et beaux b) : une sonde unique pour le QGP

- $D^0 : c\bar{u}, \bar{D}^0 : \bar{c}u$
- $B^+ : u\bar{b}, B^- : \bar{u}b$
- Les quarks lourds sont produits dès les premiers instants de la collision
- Ils sont donc présents dans l'ensemble des phases du plasma

Plan

- **Introduction**
 - Le plasma de quarks et gluons
 - L'expérience ALICE
- **Travaux réalisés**
 - Reconstruction des mésons D^0 et \bar{D}^0 , prompts et non-prompts
 - Comparaison entre les mésons prompts et non-prompts
- **Conclusion et perspectives**

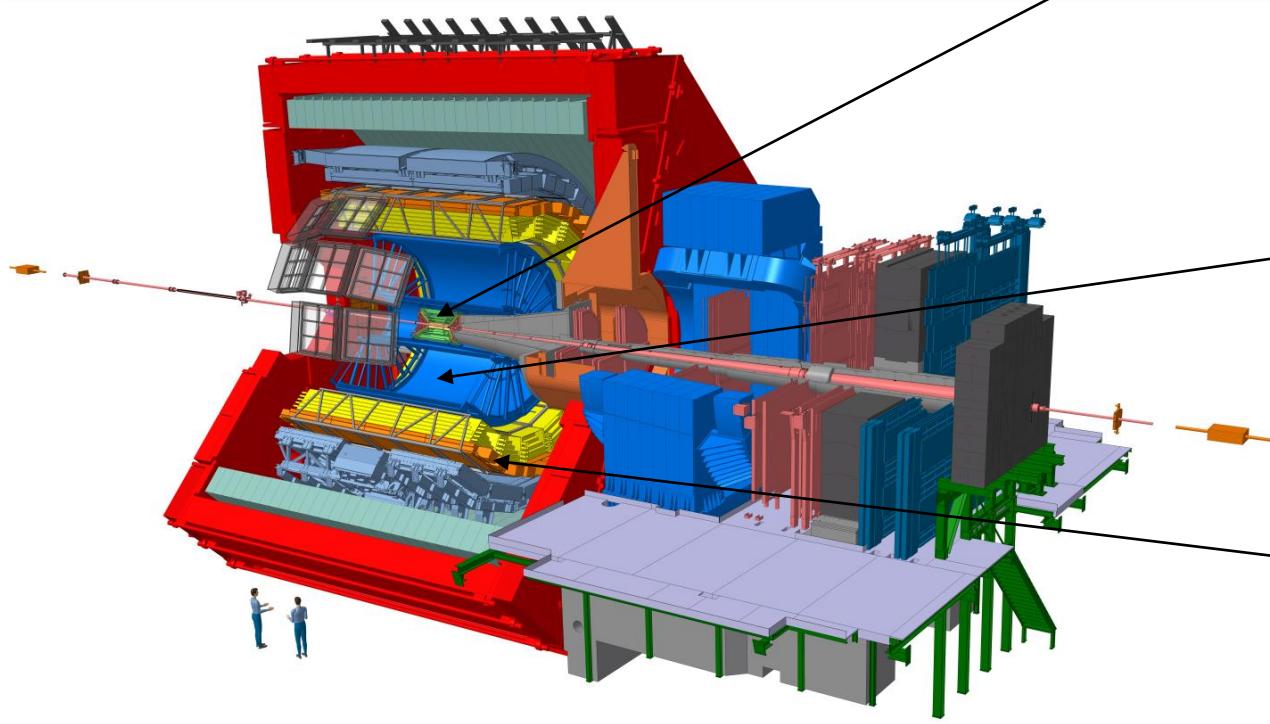
Le LHC (*Large Hadron Collider*)



- Accélérateur de particules au CERN
- Opérationnel depuis 2009
- Collisions pp : $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$,
p-Pb : $\sqrt{s} = 8,16 \text{ TeV}$ et
Pb-Pb : $\sqrt{s_{NN}} = 5,02 \text{ TeV}$
- L'expérience ALICE : conçue pour étudier les propriétés physiques de la matière soumise à l'interaction forte

Le détecteur ALICE

- 26m x 16m x 16m, 10 000 tonnes
- 19 systèmes de détection



ITS (*Inner Tracking System*) :

- Détecteur Silicium situé au plus près de la collision

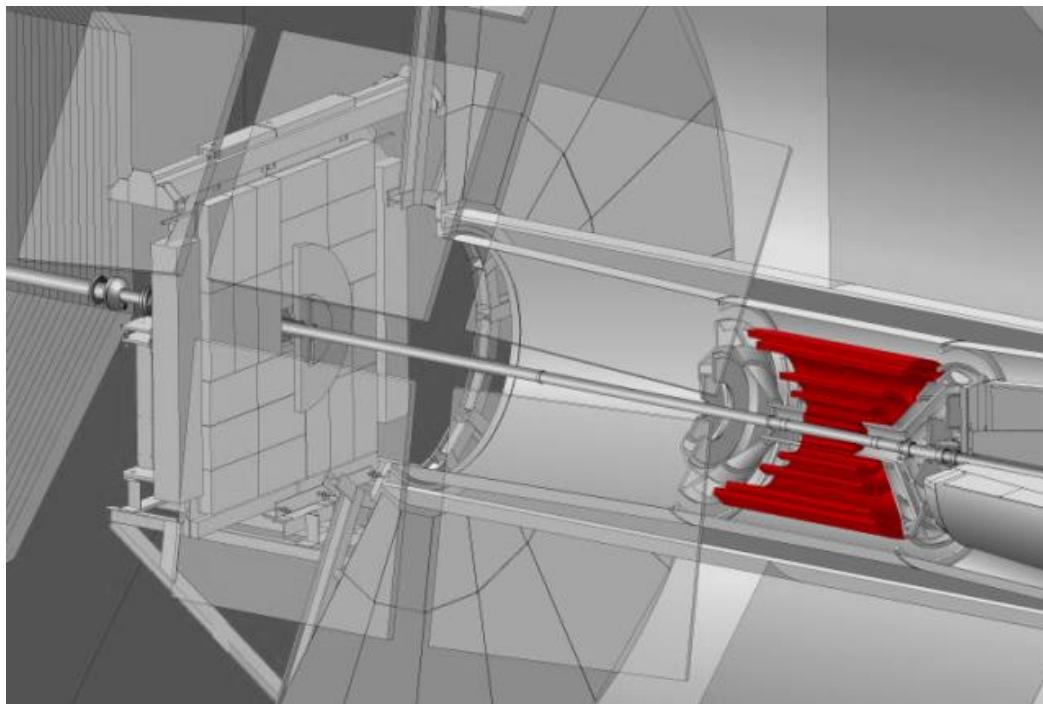
TPC (*Time Projection Chamber*) :

- Grand détecteur gazeux entourant l'ITS

TOF (*Time Of Flight*) :

- Multi-gap Resistive Plate Chamber

L'ITS (*Inner Tracking System*)

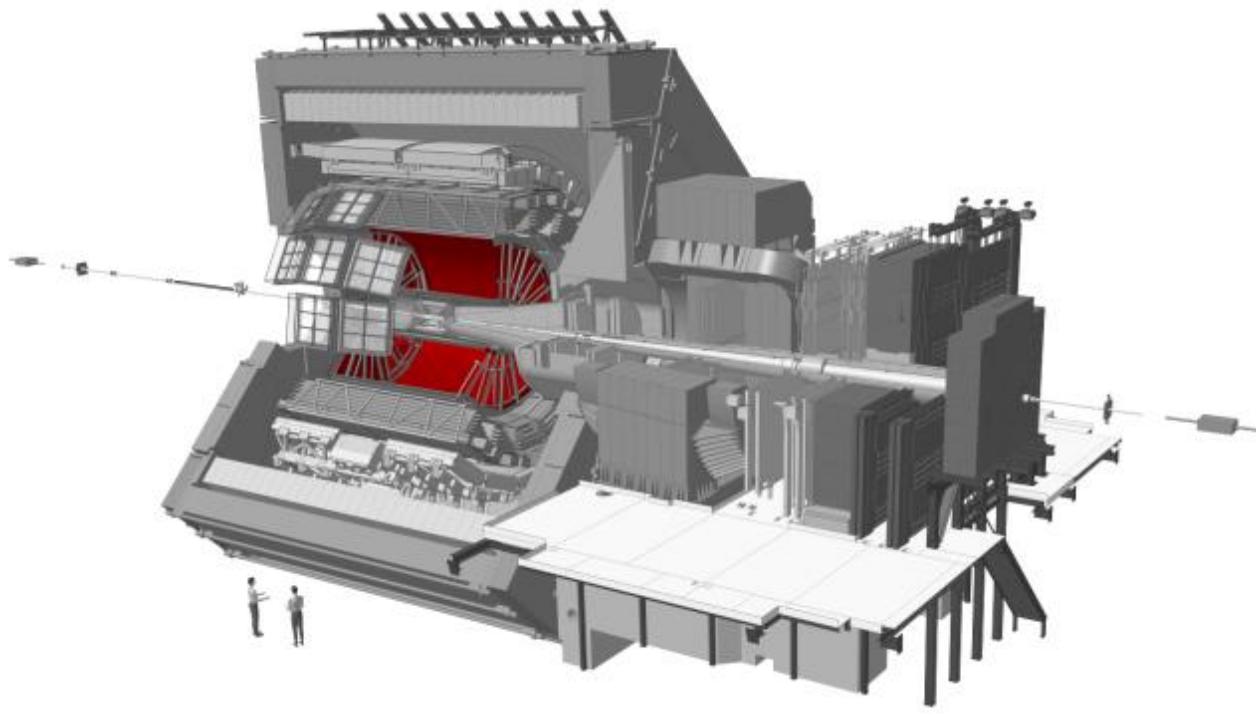


- 2 couches de détecteurs à pixels (*Silicon Pixel Detector, SPD*)
- 2 couches de détecteurs à dérive (*Silicon Drift Detector, SDD*)
- 2 couches de détecteurs à micro-pistes (*Silicon Strip Detector, SSD*)

Objectifs de ce détecteur :

- Reconstruire le vertex primaire et les vertex secondaires
- Reconstruire les traces des particules
- Identifier les particules chargées

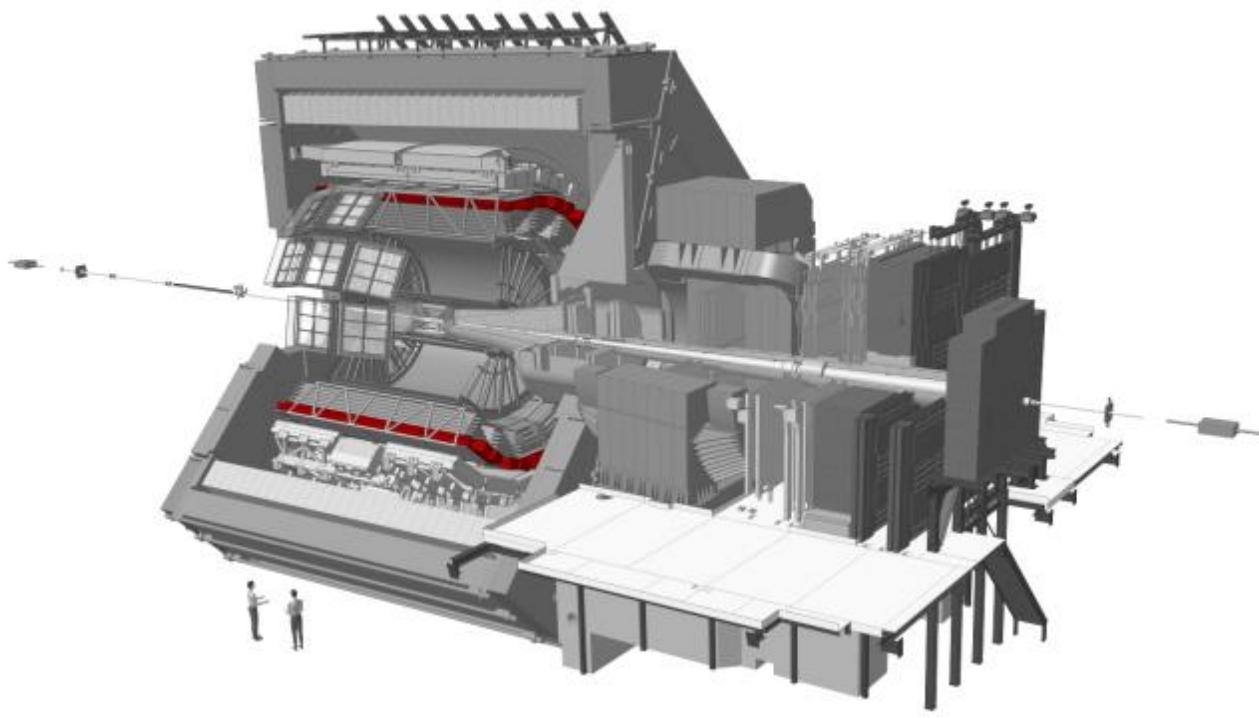
La TPC (*Time Projection Chamber*)



Objectifs de ce détecteur :

- Assurer la reconstruction des trajectoires des particules chargées
- Reconstruire les vertex de désintégrations
- Identifier les particules chargées

Le TOF (*Time Of Flight*)



Objectif de ce détecteur :

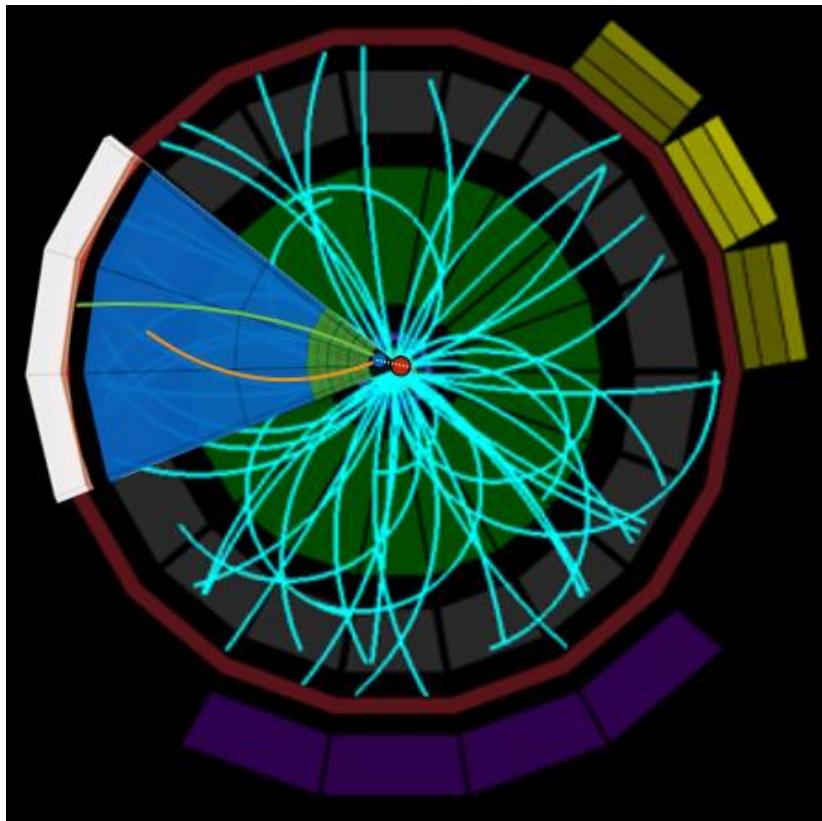
- Permet l'identification des particules chargées par la mesure de leur temps de vol

Plan

- Introduction
 - Le plasma de quarks et gluons
 - L'expérience ALICE
- Travaux réalisés
 - Reconstruction des mésons D^0 et \bar{D}^0 , prompts et non-prompts
 - Comparaison entre les mésons prompts et non-prompts
- Conclusion et perspectives

Mésons D^0 et \bar{D}^0 , prompts et non-prompt

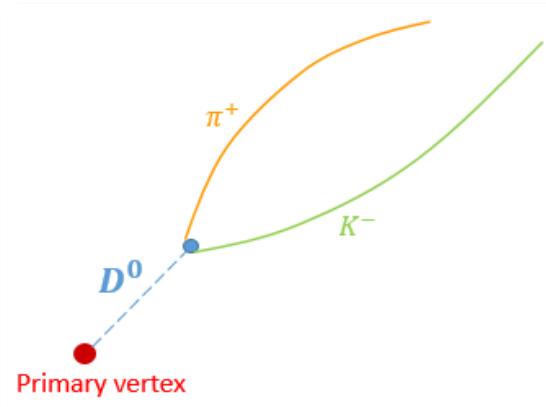
Particules étudiées : $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ $\text{BR} = (3.93 \pm 0.04) \%$
 $\bar{D}^0 \rightarrow K^+\pi^-$



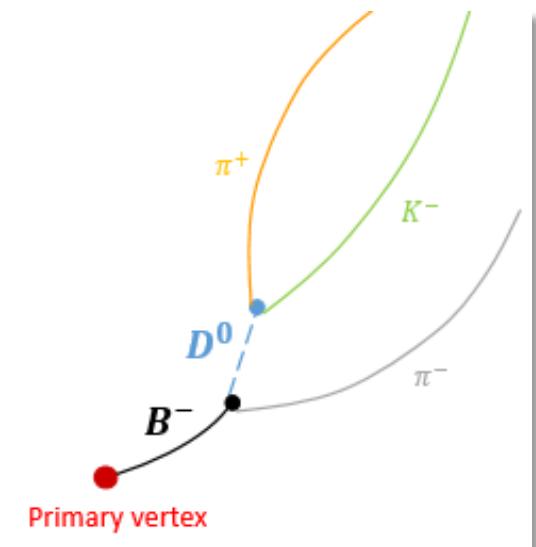
Reconstruction du canal étudié

$$D^0 : c\tau = 122,9 \mu\text{m}$$

$$B^- : c\tau = 492,0 \mu\text{m}$$



Méson D^0 prompt



Méson D^0 non-prompt

Identification de particules

Stratégie d'identification :

- Développement de la stratégie d'identification avec les **données Monte-Carlo**
- Utilisation de la TPC et du TOF
- Degré de confiance de l'identification :
 $|S_{\text{mesuré}} - S_{\text{attendu}}| < 3\sigma$

Données Monte-Carlo :

- Données obtenues à partir de simulations réalistes de l'expérience
- Signal enrichi par rapport aux données expérimentales
- Au moins une désintégration $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ dans chaque collision

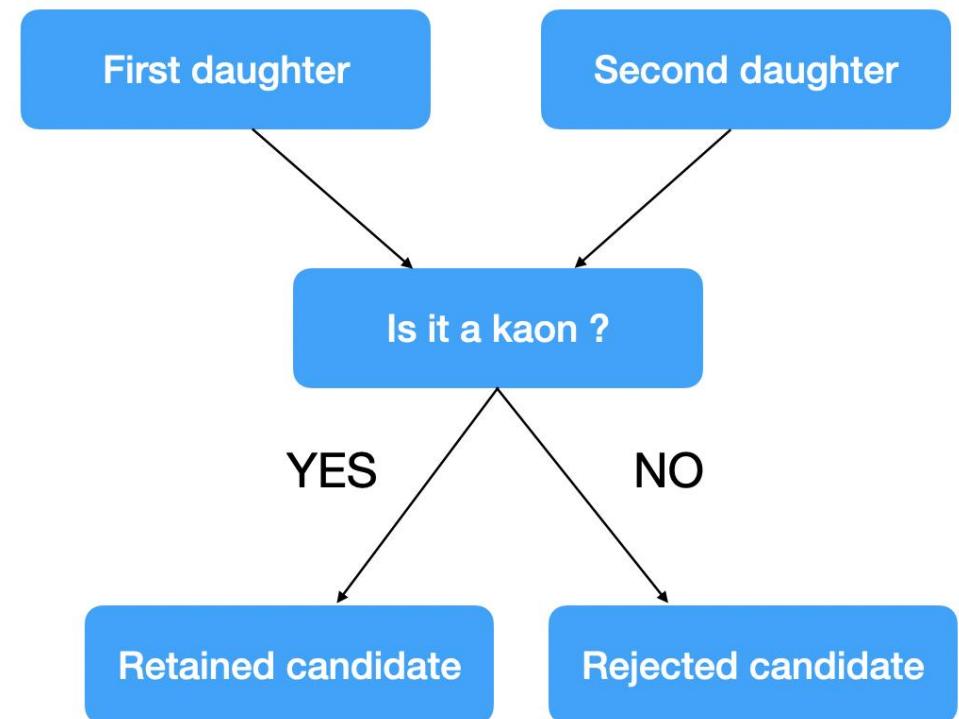
$$\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle (\beta\gamma) = \frac{P_1}{\beta^{P_4}} \cdot \left(P_2 - \beta^{P_4} - \ln \left[P_2 + \frac{1}{(\beta\gamma)^{P_5}} \right] \right)$$

Formule de Bethe-Bloch

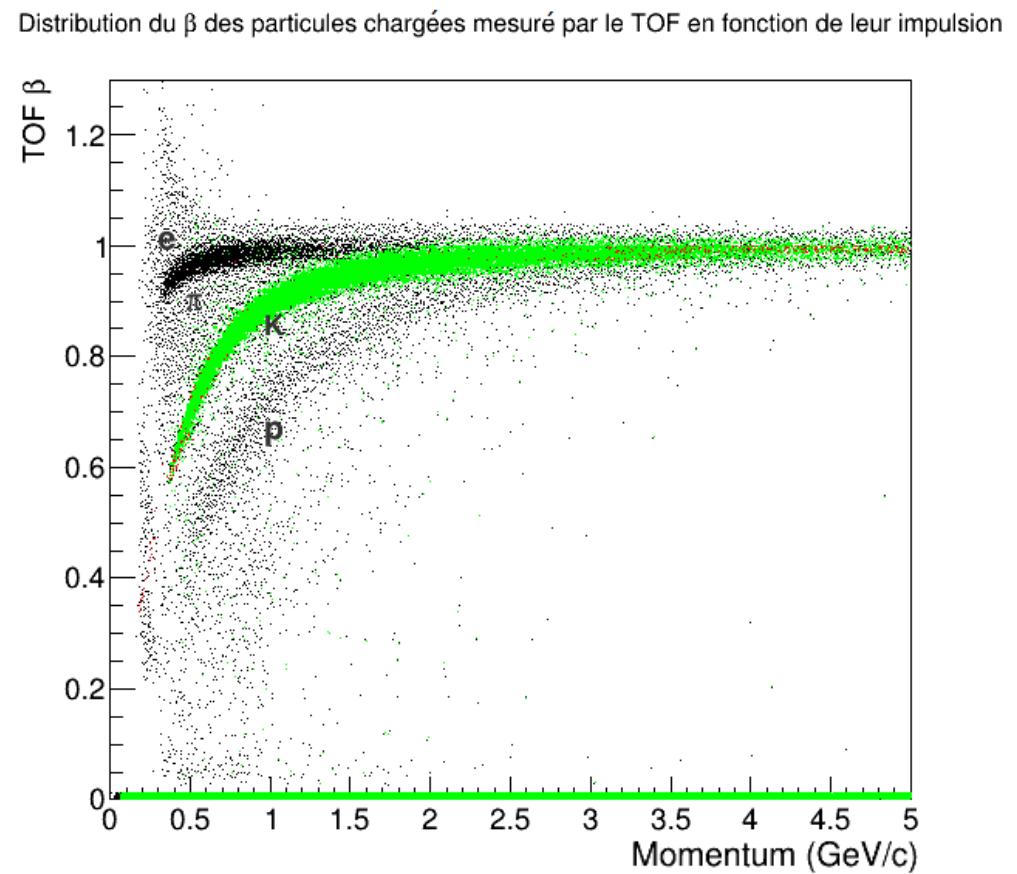
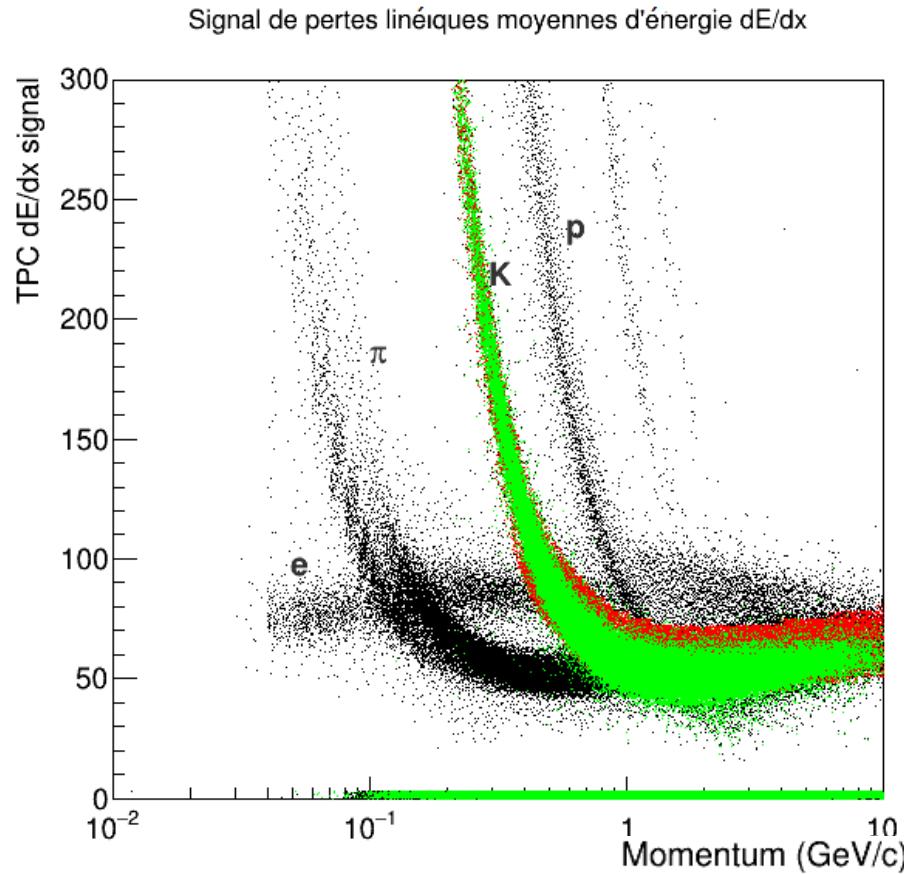
Identification de particules

Stratégie d'identification :

- Identification seulement pour les kaons et des pions
- Test pour les deux particules filles pour chaque candidat
- Un même candidat peut être identifié à la fois comme D^0 et \bar{D}^0



Identification de particules

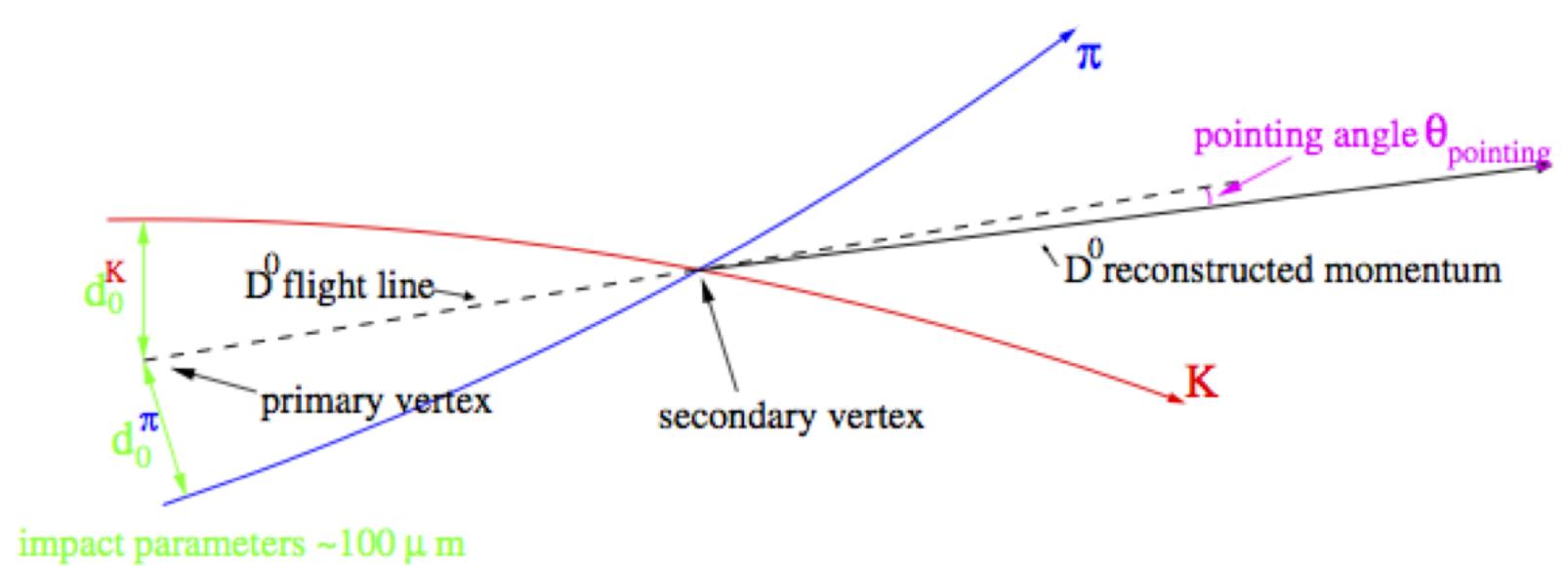


Critères de sélection topologique

Objectifs :

- Sélection des traces proches dans l'espace
- Association des traces provenant du même vertex
- Diminution du bruit de fond combinatoire

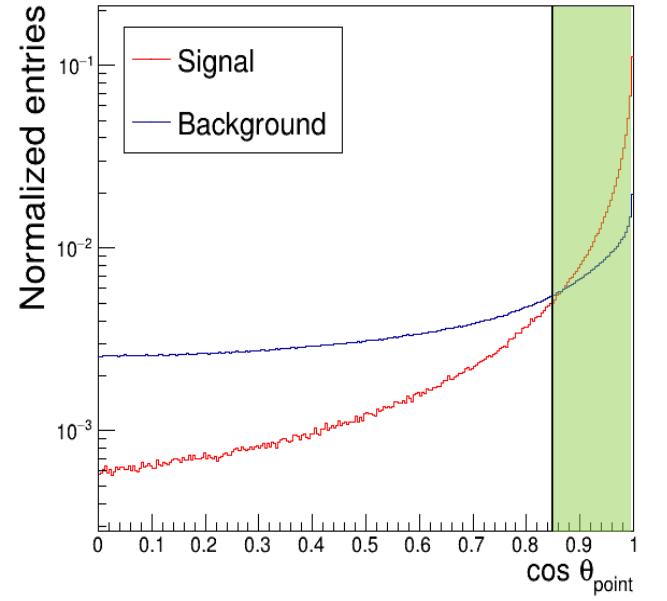
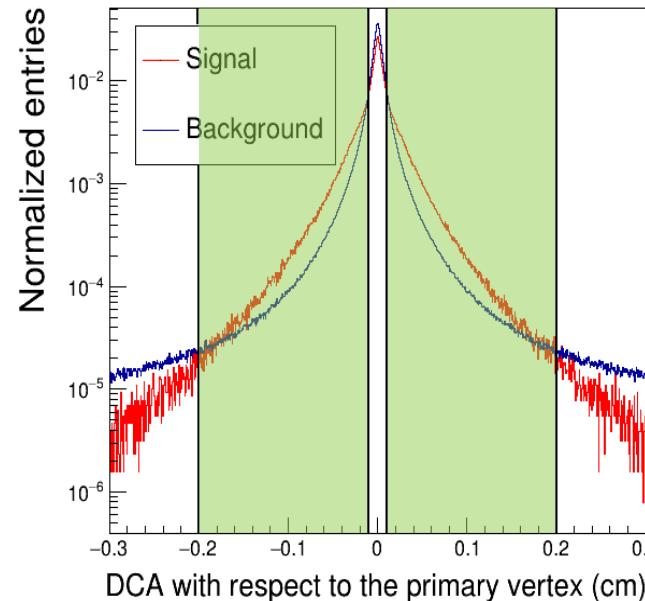
Variable topologique	Coupe
d_0^K, d_0^π (cm)	$> 0,02$ et $< 0,1$
$d_0^K \cdot d_0^\pi$ (cm ²)	$< -0,01 \cdot 0,01$
DCA (cm)	$< 0,025$
$\cos \theta_{point}$	$> 0,85$



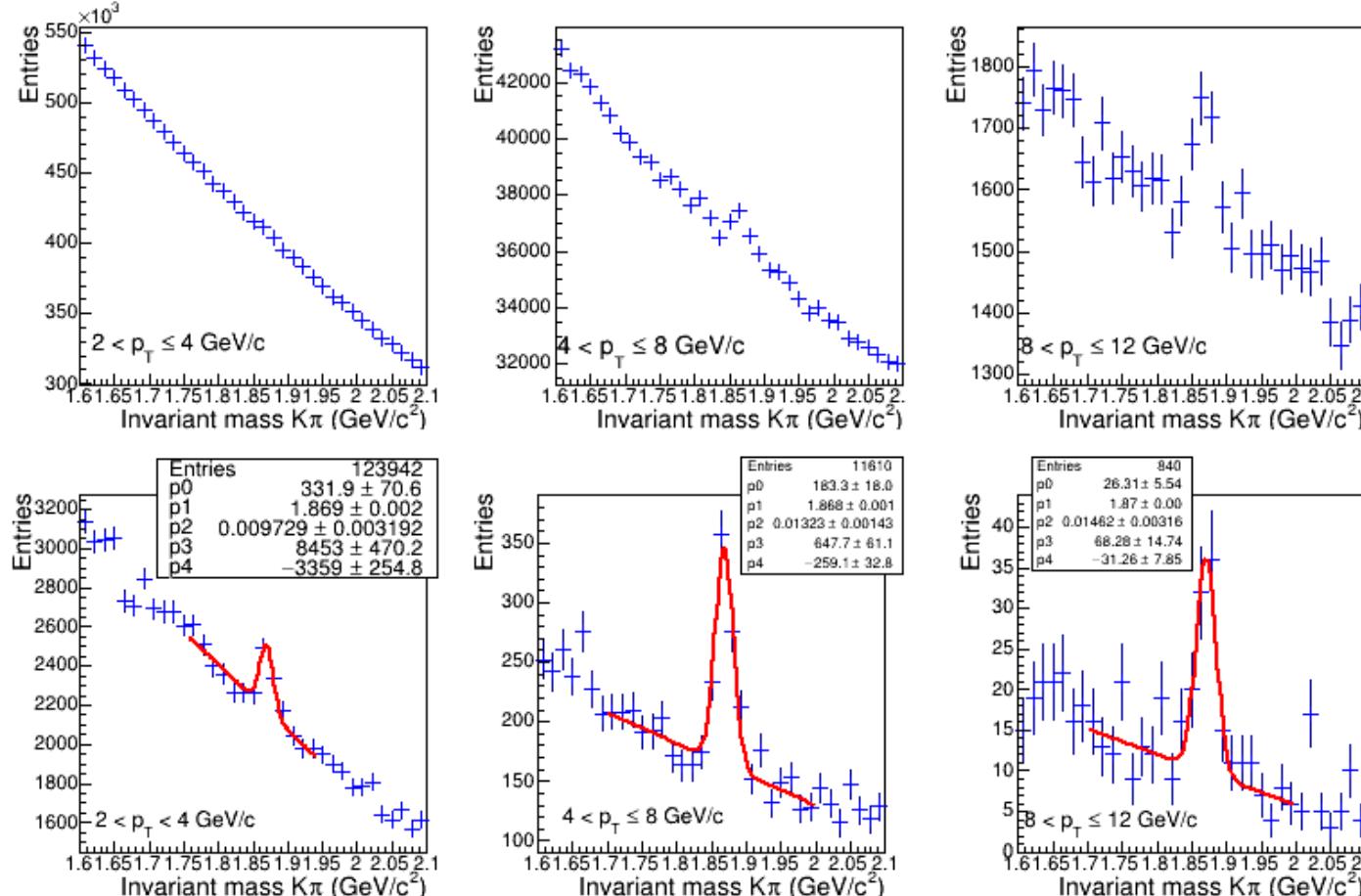
Critères de sélection topologique

Optimisation des coupures :

- Ajustement de la valeur des coupures
- Compromis pour supprimer le plus de bruit de fond possible tout en gardant assez de signal
- Utilisation des **données Monte-Carlo**



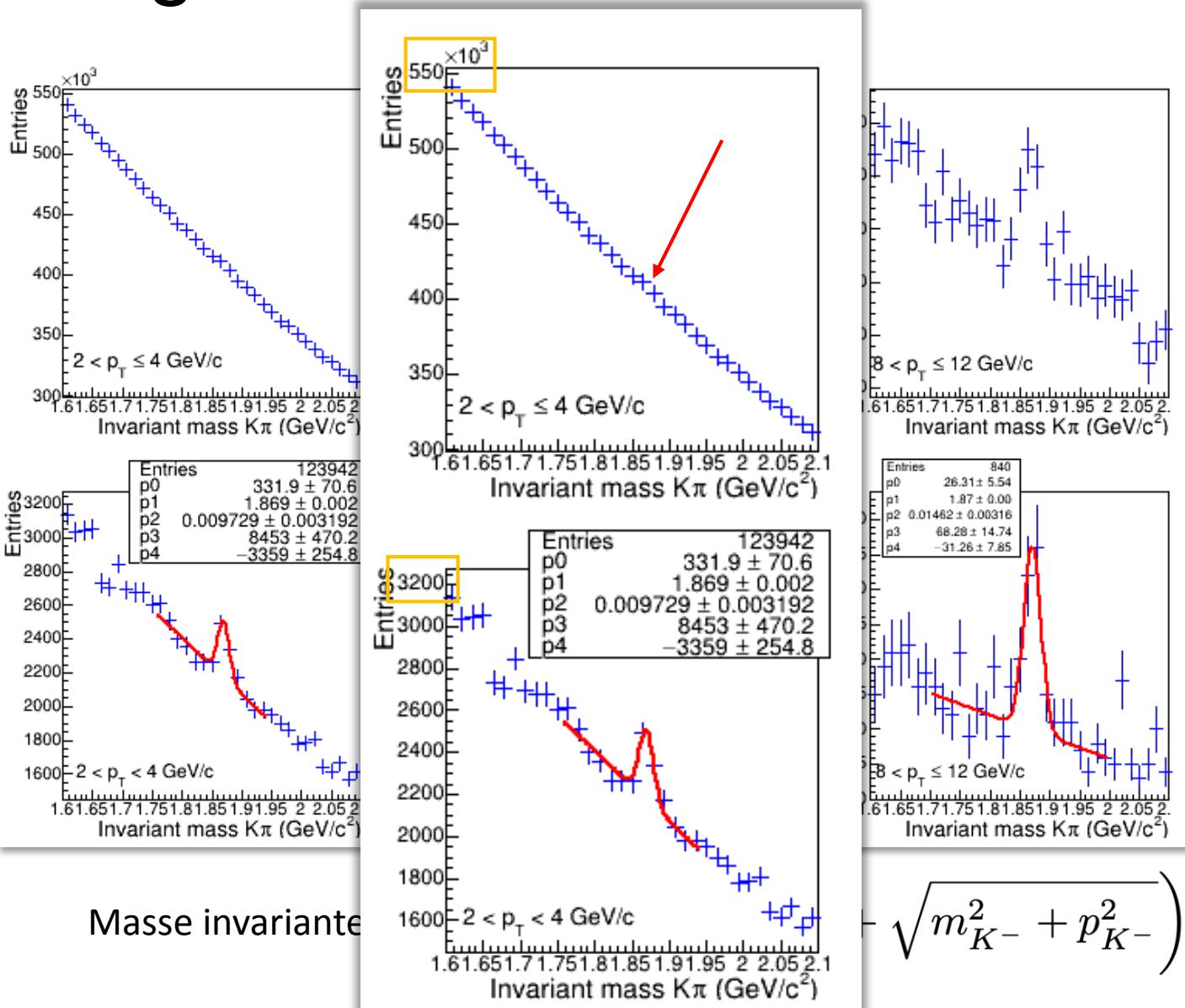
Signal des mésons D^0 et \bar{D}^0



- Réalisé en analysant 100 millions de collisions pp
- Utilisation des **données expérimentales** enregistrées en 2017 par l'expérience
- Un ajustement est effectué à l'aide d'une fonction gaussienne et d'un polynôme d'ordre 1

Masse invariante :
$$m_{D^0}^2 = \left(\sqrt{m_{\pi^+}^2 + p_{\pi^+}^2} + \sqrt{m_{K^-}^2 + p_{K^-}^2} \right)^2 - \left\| (\mathbf{p}_{\pi^+} + \mathbf{p}_{K^-}) \right\|^2$$

Signal des mesons D^0 et $\overline{D^0}$

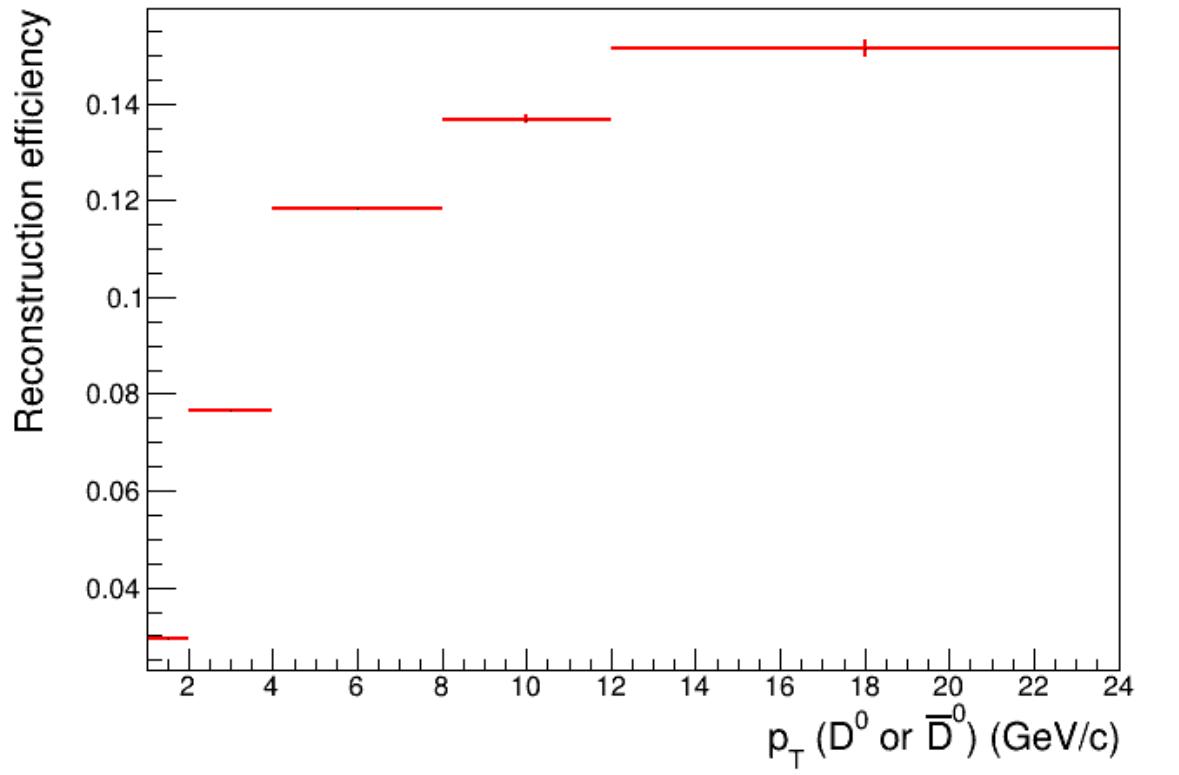


- Réalisé en analysant 100 millions de collisions pp
 - Utilisation des **données expérimentales** enregistrées en 2017 par l'expérience
 - Un ajustement est effectué à l'aide d'une fonction gaussienne et d'un polynôme d'ordre 1

$$+ \sqrt{m_{K^-}^2 + p_{K^-}^2} \Big)^2 - \|(\mathbf{p}_{\pi^+} + \mathbf{p}_{K^-}) \|^2$$

Correction en efficacité de reconstruction

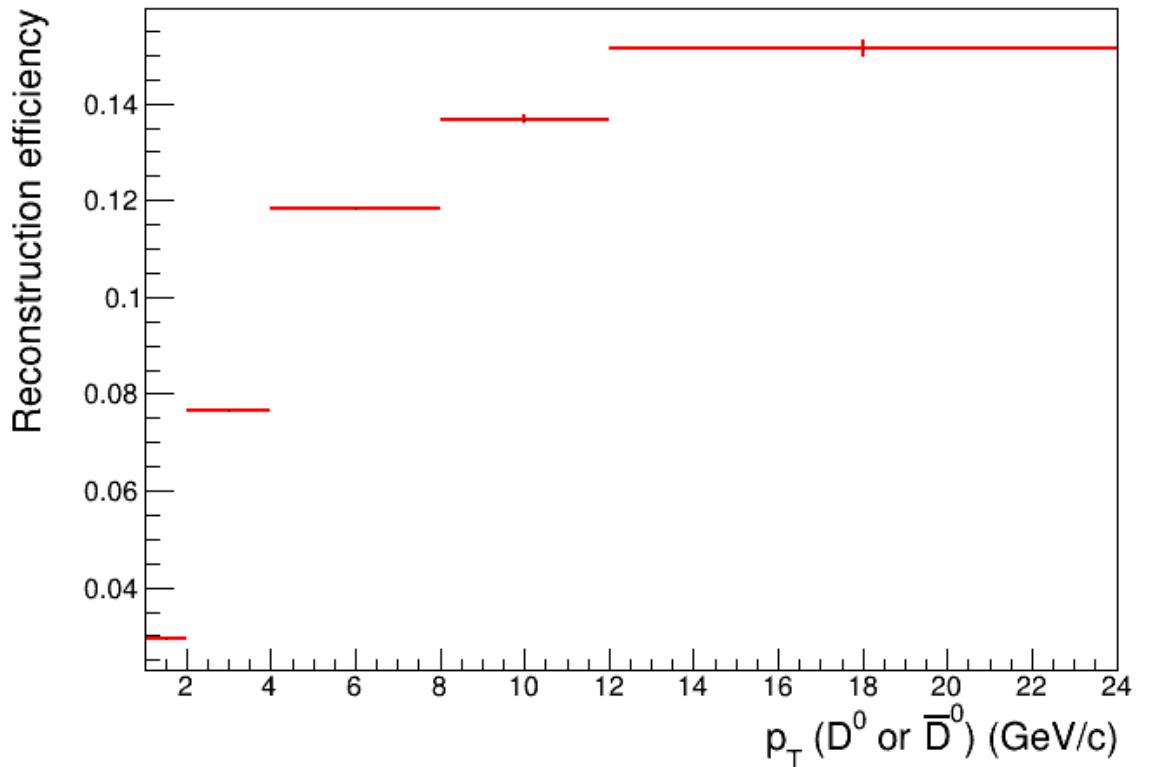
$$\text{Efficacité de reconstruction} = \frac{\text{Nombre de } D^0 \text{ et } \bar{D}^0 \text{ reconstruits et sélectionnés}}{\text{Nombre de } D^0 \text{ et } \bar{D}^0 \text{ générés dans } |y| < 0,5}$$



- Calcul de l'efficacité avec les données Monte-Carlo
- La valeur est liée aux coupures : sa faible valeur peut indiquer des coupures strictes

Correction en efficacité de reconstruction

$$\text{Efficacité de reconstruction} = \frac{\text{Nombre de } D^0 \text{ et } \bar{D}^0 \text{ reconstruits et sélectionnés}}{\text{Nombre de } D^0 \text{ et } \bar{D}^0 \text{ générés dans } |y| < 0,5}$$



- Calcul de l'efficacité avec les données Monte-Carlo
- La valeur est liée aux coupures : sa faible valeur peut indiquer des coupures strictes

Correction en efficacité de reconstruction

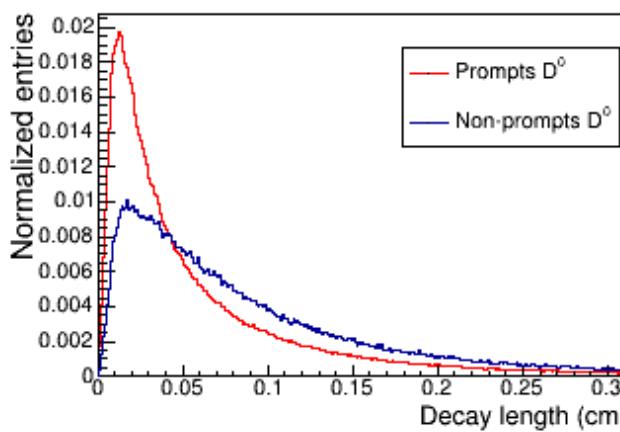
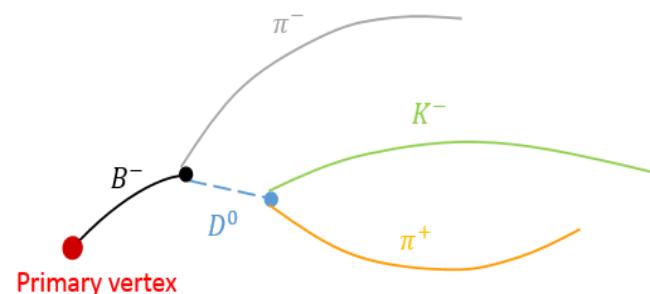
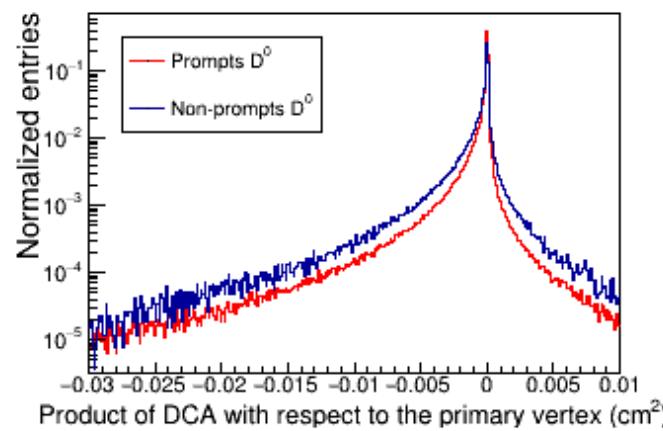
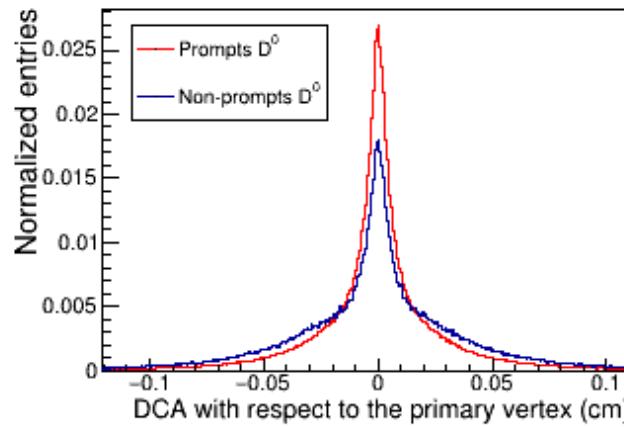
- Seule une petite proportion indistinguable des particules sélectionnées sont des vrais D^0 et \bar{D}^0
- On peut donc corriger le signal avec l'efficacité de reconstruction

Intervalle en p_T (GeV/c)	Efficacité (%)	Signal brut	Signal corrigé
$2 < p_T < 4$	$7,66 \pm 0,02$	552 ± 158	7206 ± 2042
$4 < p_T < 8$	$11,8 \pm 0,04$	464 ± 61	3832 ± 514
$8 < p_T < 12$	$13,7 \pm 0,01$	81 ± 23	592 ± 165

Plan

- **Introduction**
 - Le plasma de quarks et gluons
 - L'expérience ALICE
- **Travaux réalisés**
 - Reconstruction des mésons D^0 et \bar{D}^0 , prompts et non-prompts
 - Comparaison entre les mésons prompts et non-prompts
- **Conclusion et perspectives**

Vers la séparation des mésons prompts et non-prompts



- Etude réalisée avec les **données Monte-Carlo**
- Prochaine étape : Utilisation de ces différences pour augmenter la proportion de D^0 non-prompts sélectionnés
- Permet d'étudier les mésons B

Plan

- **Introduction**
 - Le plasma de quarks et gluons
 - L'expérience ALICE
- **Travaux réalisés**
 - Reconstruction des mésons D^0 et \bar{D}^0 , prompts et non-prompts
 - Comparaison entre les mésons prompts et non-prompts
- **Conclusion et perspectives**

Conclusion et perspectives

Stage

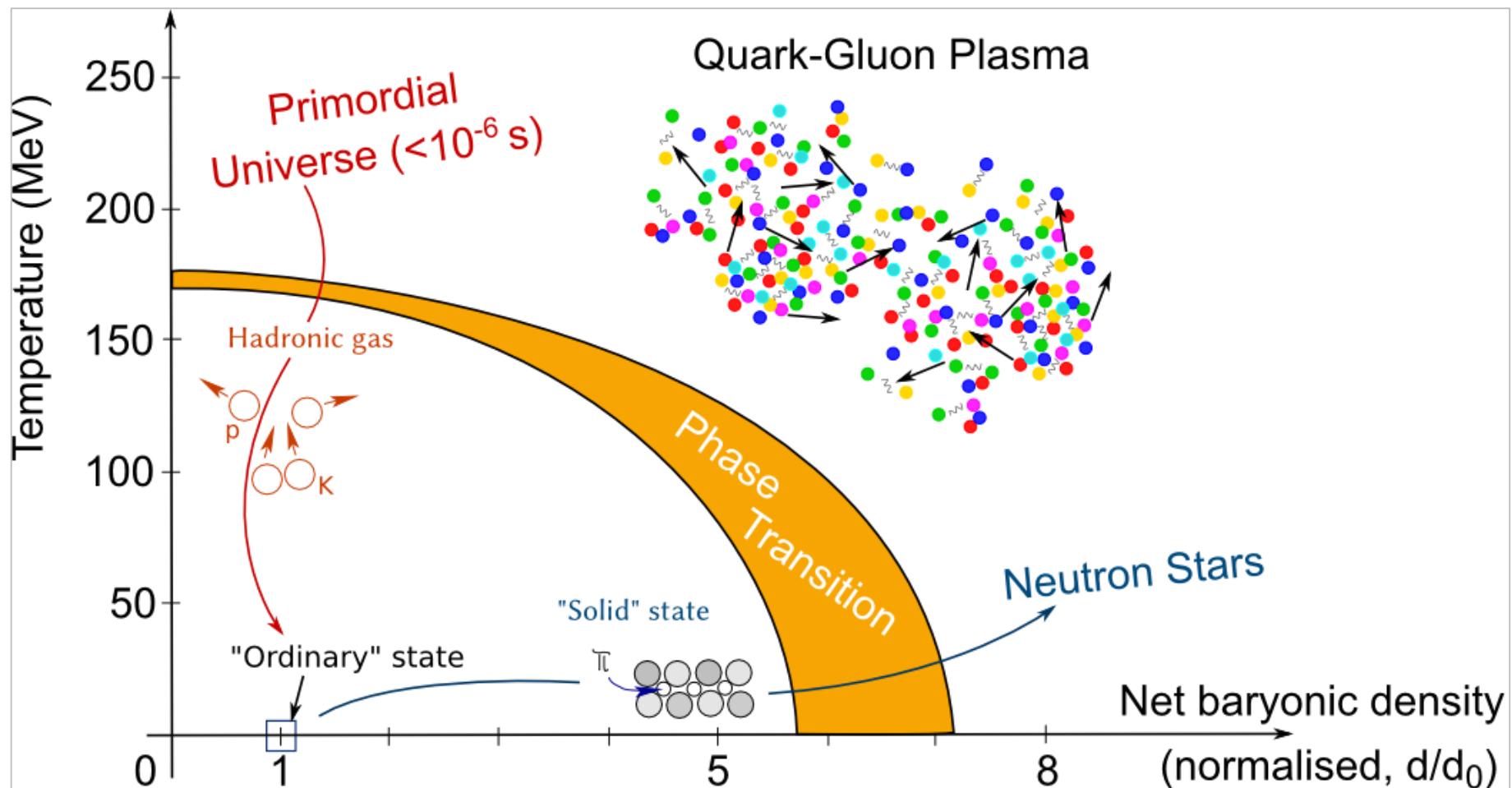
- Analyse du canal $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ dans des collisions pp
- Développement de la procédure de sélection des mésons
- Utilisation des outils de la collaboration ALICE (ROOT, AliRoot, AliPhysics)
- Extraction du signal brut
- Estimation de la correction en efficacité

Perspectives

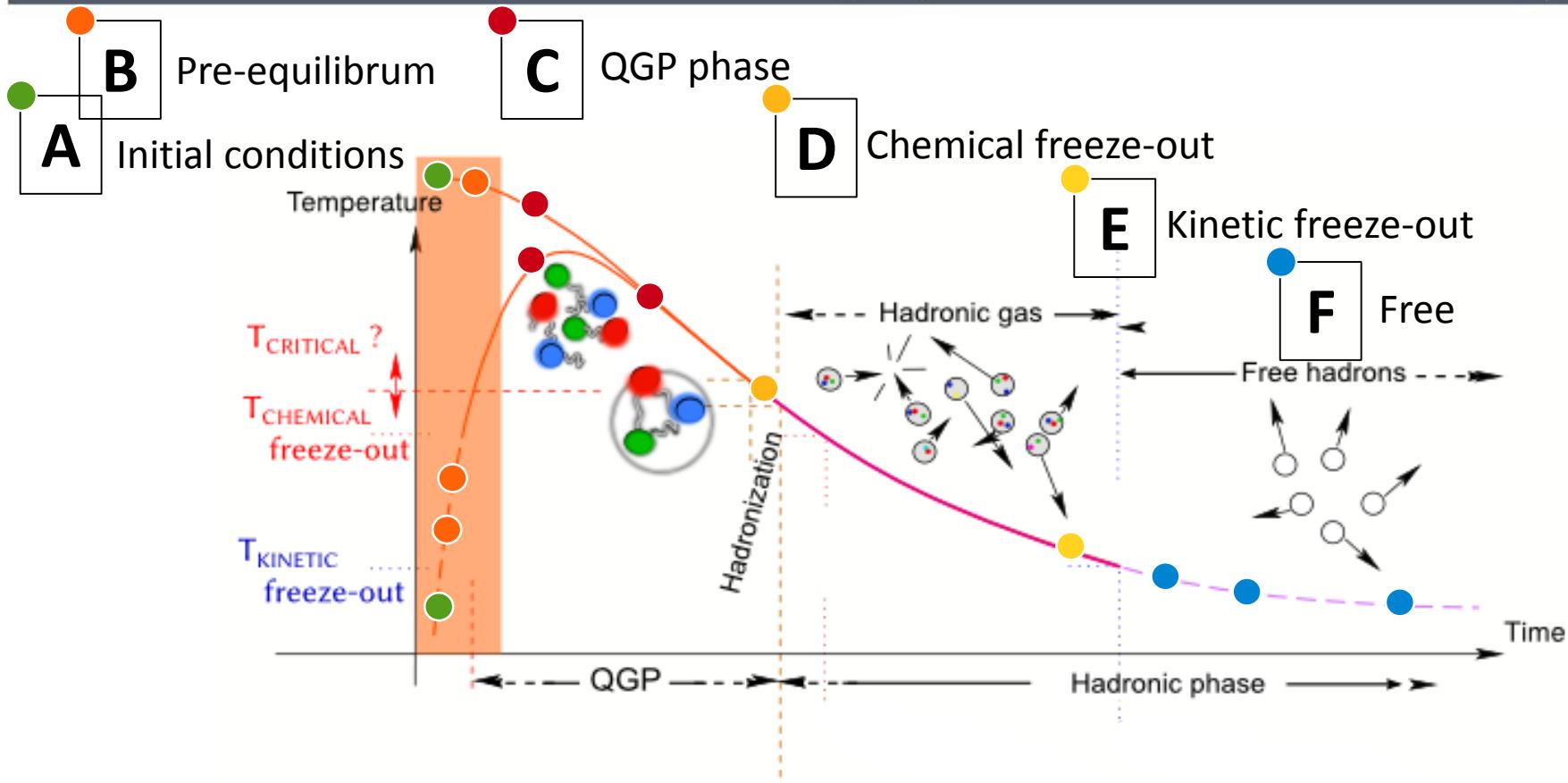
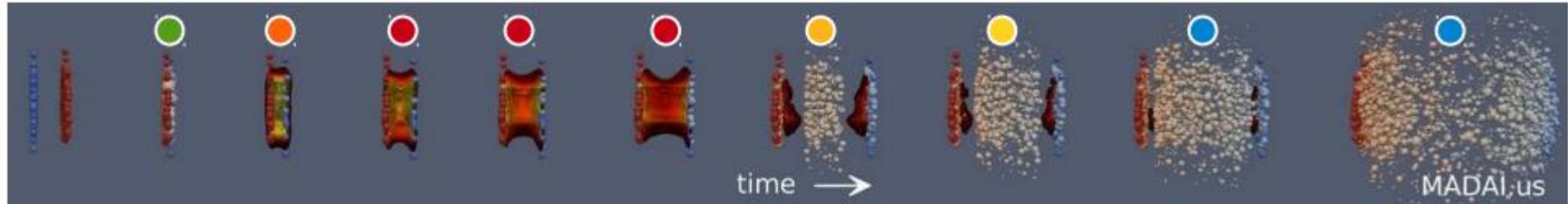
- Poursuite de l'étude du D^0 pendant l'été (stage volontaire)
 - Calcul des erreurs systématiques
 - Corrélation des coupures topologiques
 - etc.

Backup

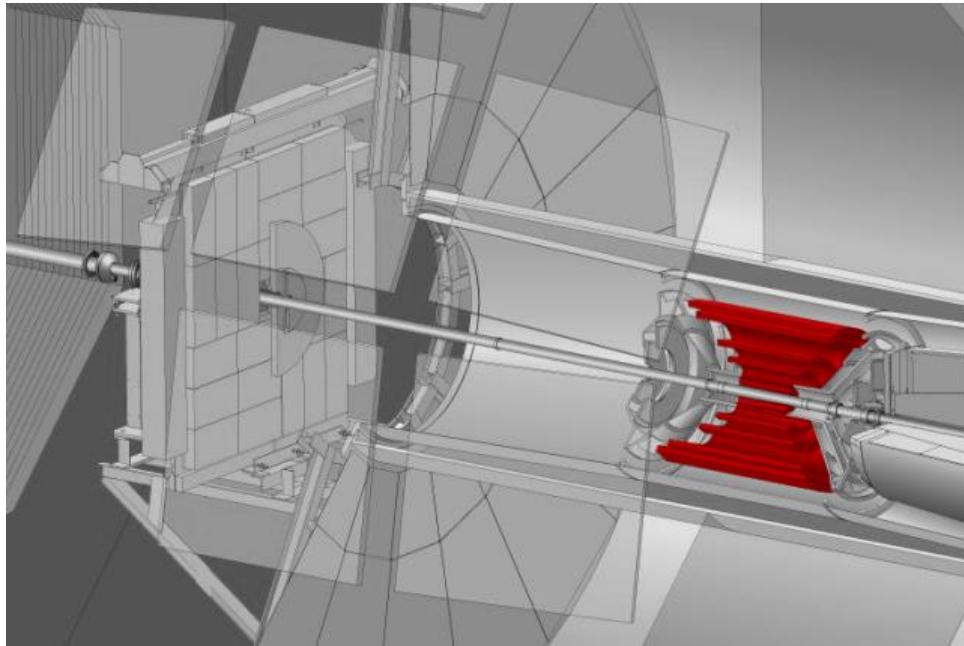
Diagramme de phase



Scénario de Bjorken



L'ITS (*Inner Tracking System*)



2 couches de détecteurs à micro-pistes (*Silicon Strip Detector, SSD*)

- Permet de relier les traces reconstruites avec la TPC
- Utile pour l'identification de particules chargées

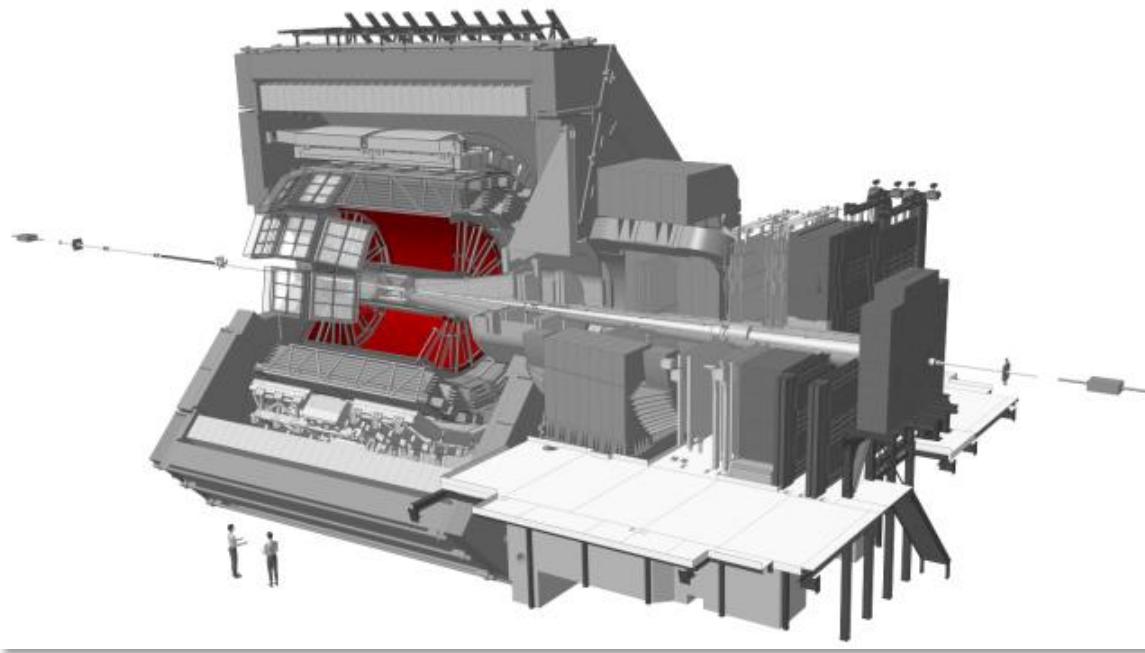
2 couches de détecteurs à pixels (*Silicon Pixel Detector, SPD*)

- Très bonne résolution spatiale
- Permet la reconstruction du vertex primaires et des vertex secondaires
- Peut être utilisé comme système de déclenchement

2 couches de détecteurs à dérive (*Silicon Drift Detector, SDD*)

- Permet la reconstruction des traces
- Utile pour l'identification de particules chargées

La TPC (Time Projection Chamber)

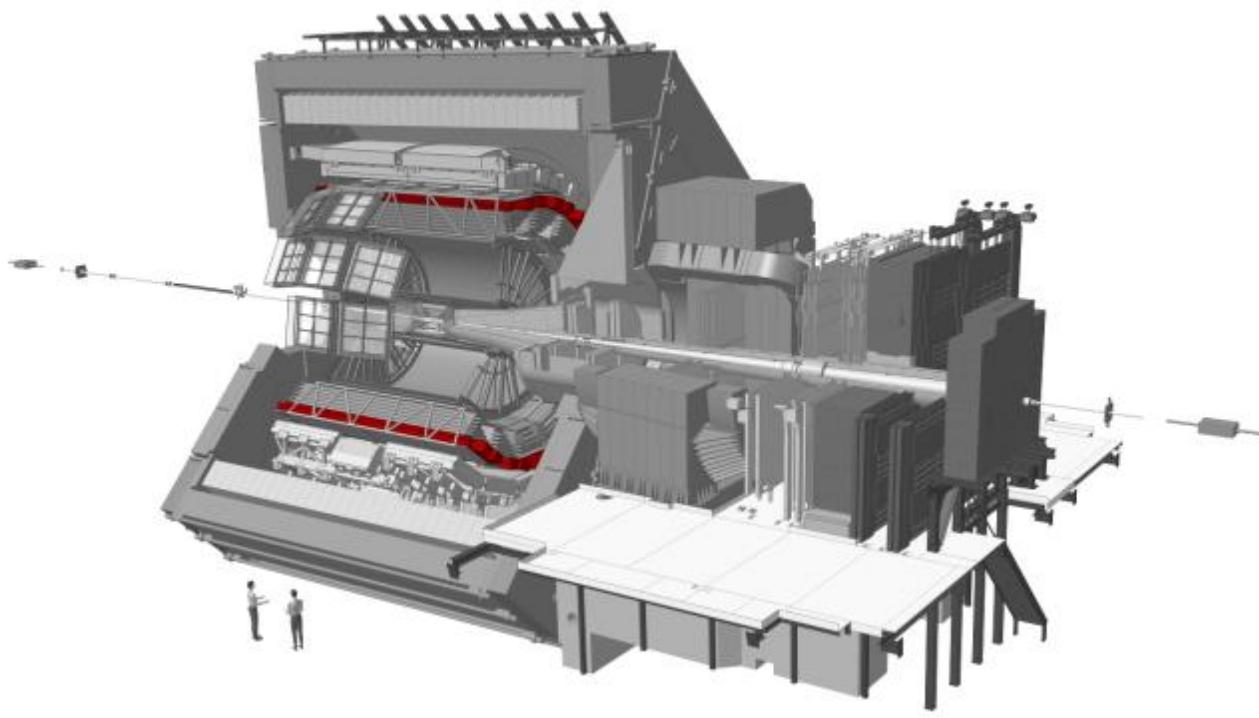


Objectifs de ce détecteur :

- Assurer la reconstruction des trajectoires des particules chargées
- Reconstruire les vertex de désintégrations
- Identifier les particules chargées

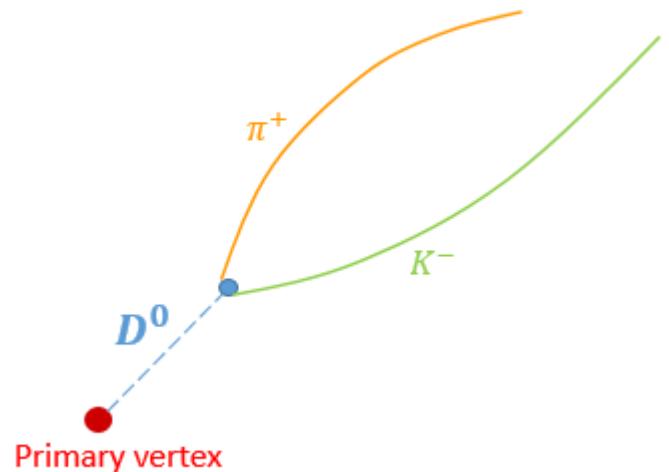
Le passage d'une particule chargée ionise le gaz ce qui permet d'obtenir les coordonnées de la particule. L'identification est possible grâce à la mesure de leur perte linéaire d'énergie

Le TOF (*Time Of Flight*)



- Permet l'identification des particules chargées par la mesure de leur temps de vol
- Possède un bon pouvoir de séparation

Calcul de masse invariante



- Conservation de l'énergie

$$E^*(D^0) = E^*(K^-) + E^*(\pi^+)$$

- Conservation de l'impulsion

$$\mathbf{p}^*(D^0) = \mathbf{p}^*(K^-) + \mathbf{p}^*(\pi^+) = 0$$

- Invariance de Lorentz

$$E^{*2}(K^-) + \mathbf{p}^{*2}(K^-) = E^2(K^-) + \mathbf{p}^2(K^-)$$

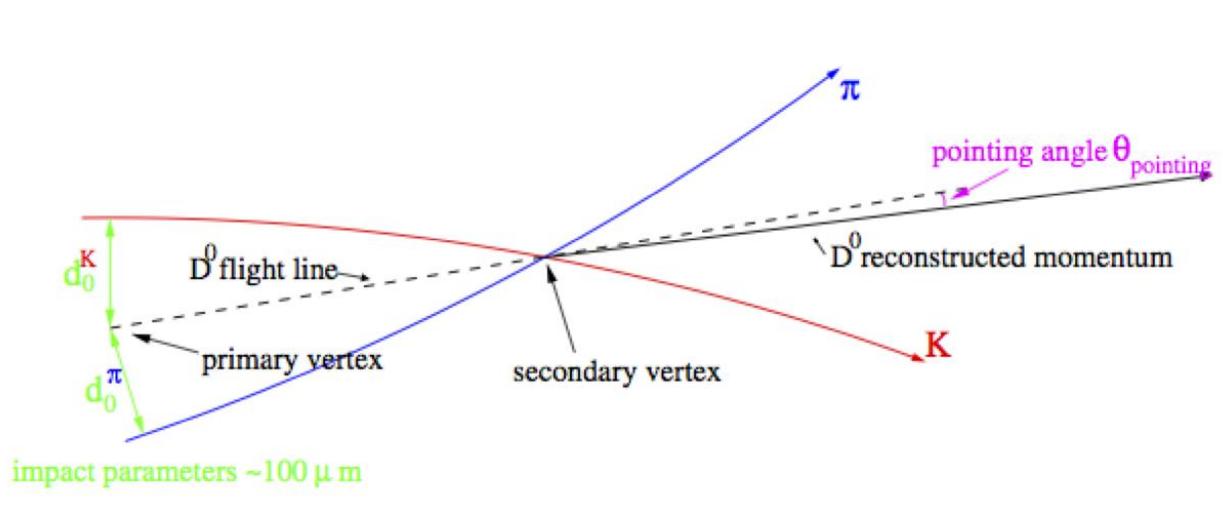
$$M^2(D^0) = (E(K^-) + E(\pi^+))^2 - (\mathbf{p}(K^-) + \mathbf{p}(\pi^+))^2$$

Reconstruction d'un D^0

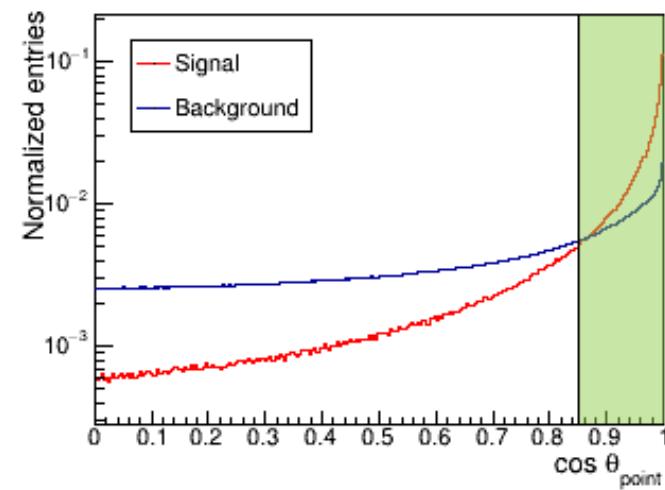
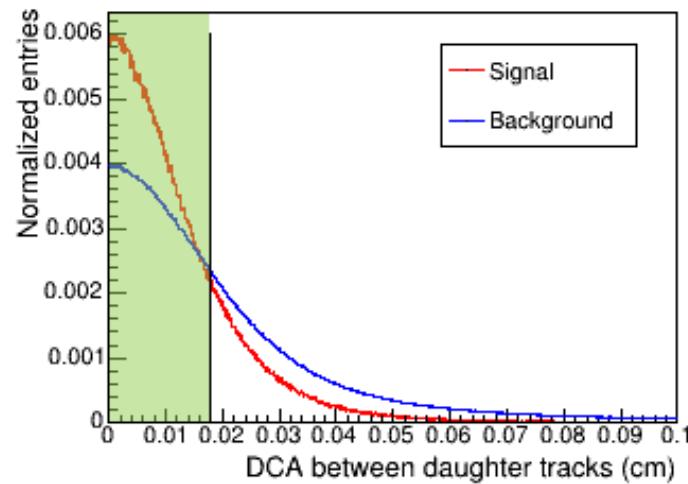
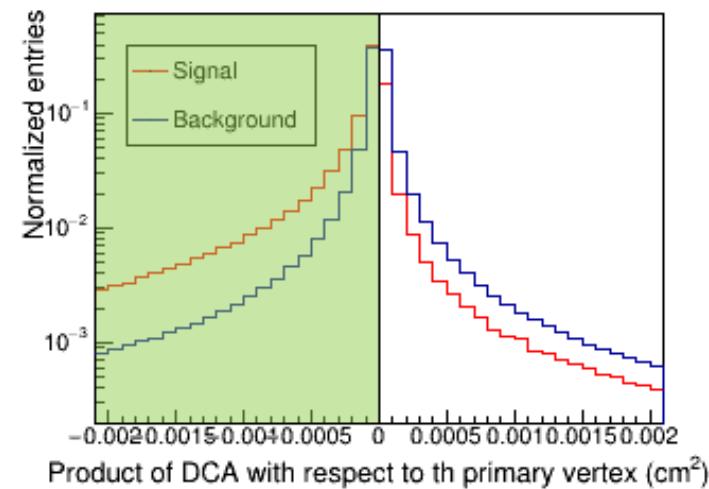
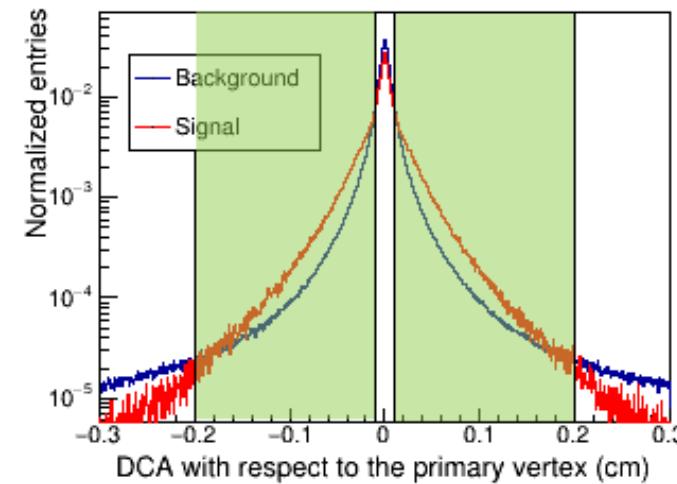
- Identification de particules
 - Pour isoler les K^- et les π^+
- Sélection topologique
 - Pour associer les K^- avec les π^+ (originaire du même vertex)
- Calcul de masse invariante
 - Pour sélectionner les particules mères correspondants à des D^0

Coupures topologiques

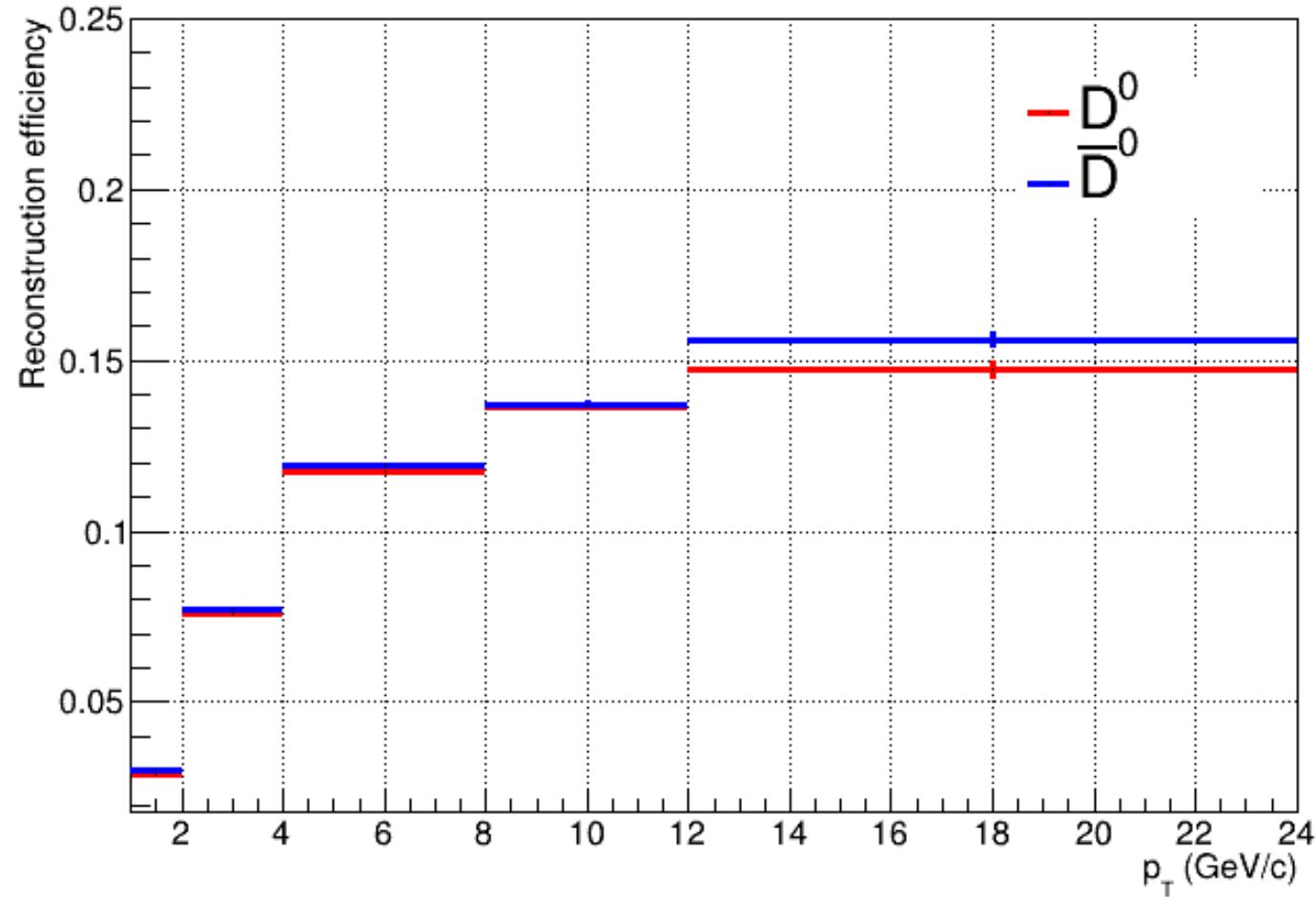
Variables topologiques	Valeur de la coupure
p_T (GeV/c)	> 0.5
η	< 0.9
DCA (cm)	< 0.018
d_0^K, d_0^π (cm)	< 0.2 et > 0.01
$d_0^K * d_0^\pi$ (cm ²)	- 0.0001
$\cos \theta_{point}$	> 0.85



Coupures topologiques



Correction en efficacité de reconstruction





Section efficace

Section efficace de production :

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

État initial	Diffusion dure	Fragmentation
--------------	----------------	---------------

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