



**HAL**  
open science

**Mesure de la section efficace des hadrons beaux et charmés avec les muons simples dans les collisions  $p - p$  à  $\sqrt{s} = 14$  TeV avec le spectromètre à muons d'ALICE**

Loïc Manceau

► **To cite this version:**

Loïc Manceau. Mesure de la section efficace des hadrons beaux et charmés avec les muons simples dans les collisions  $p - p$  à  $\sqrt{s} = 14$  TeV avec le spectromètre à muons d'ALICE. Journées Jeunes Chercheurs 2008, Nov 2008, Saint Flour, France. in2p3-00363471

**HAL Id: in2p3-00363471**

**<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00363471>**

Submitted on 23 Feb 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Première partie**

# **Titre de la session**



# Mesure de la section efficace des hadrons beaux et charmés avec les muons simples dans les collisions $p-p$ à $\sqrt{s} = 14$ TeV avec le spectromètre à muons d'ALICE



Loïc MANCEAU

Laboratoire de Physique Corpusculaire (L.P.C.),  
Clermont-Ferrand

## Résumé

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) est le détecteur du LHC conçu pour mesurer les collisions noyau-noyau (AA) où l'on s'attend à la formation du Plasma de Quarks et de Gluons. L'expérience étudiera aussi les collisions proton-proton ( $pp$ ) à 14 TeV. Parmi les observables pertinentes à étudier avec les collisions  $pp$ , la section efficace des hadrons beaux et charmés est particulièrement intéressante car elle fournit des références pour les modèles théoriques. Elle est aussi nécessaire pour comprendre la production de saveurs lourdes dans les collisions AA. Dans la suite, nous présentons les performances du spectromètre à muons d'ALICE pour mesurer la section efficace des hadrons beaux et charmés dans les collisions  $pp$  à 14 TeV avec les muons simples.

## 1.1 Introduction

Le but premier des collisions d'ions lourds est d'étudier la matière nucléaire dans des conditions extrêmes de température et de pression. Avec une énergie dans le centre de masse par paire de nucléons de  $\sqrt{s_{NN}} = 5.5$  TeV, en collisions  $PbPb$ , qui excède celle atteinte au RHIC en collisions  $AuAu$  par environ un facteur 30, le LHC (Large Hadron Collider) devrait pouvoir explorer dans des conditions sans précédents, les zones du diagramme de phase de la matière nucléaire de faible potentiel baryonique et de grandes températures où l'on s'attend à la formation du QGP.

Parmi les sondes du QGP, on trouve les saveurs lourdes. Les signatures liées aux saveurs lourdes semblent particulièrement prometteuses pour l'étude du QGP au LHC car on s'attend à une section efficace de production du charme et de la beauté (voir Tab. 1.1) respectivement 10 et 100 fois plus importante qu'au RHIC [1].

TAB. 1.1 – Prédiction de calculs NLO pQCD en collisions  $pp$  à  $\sqrt{s} = 14$  TeV pour le nombre de paires quark-antiquark charmées et belles par événement et les sections efficaces de production correspondantes [2].

	$N/evt.$	$\sigma_{Q\bar{Q}} (mb)$
$c\bar{c}$	0.16	11.2
$b\bar{b}$	0.0072	0.51

La motivation principale pour mesurer la section efficace des hadrons beaux et charmés dans les collisions  $pp$  est de tester les calculs de la Chromodynamique Quantique (QCD) perturbative aux deux premiers ordres (Next-to-Leading-Order perturbative QCD : NLO pQCD) qui prédisent les sections efficaces avec de grandes incertitudes [3]. De plus, mesurer la section efficace des hadrons beaux ou charmés dans les collisions  $pp$  permet :

- de comprendre la section efficace des hadrons beaux ou charmés dans les collisions  $pA$ , où l'étude des effets nucléaires froids devrait apporter des informations sur les fonctions de distributions de partons (PDF) dans le noyau ;
- de comprendre la section efficace des hadrons beaux ou charmés dans les collisions AA où l'étude des partons à travers le milieu QCD chaud devrait fournir des informations sur la densité initiale de gluons et sur les propriétés dissipatives du milieu ;
- de normaliser les sections efficaces de production des quarkonia dans les collisions  $pA$  et AA. L'étude des quarkonia permet d'accéder à l'énergie critique et à la température critique de formation du QGP.

## 1.2 Les données

On utilise les données simulées produites sur la grille de calcul dans le cadre du Physics Data Challenge 2006 (PDC06). Les événements ont été simulés et reconstruits dans l'environnement d'AliRoot [4]. La simulation est effectuée au moyen du générateur d'événements Monte Carlo PYTHIA 6.2 avec les PDFs CTEQ5L (les paramètres sont décrits dans [1]). Dans le but d'optimiser la statistique et de réduire le temps de calcul, les événements ont été reconstruits uniquement si au moins un muon avec une impulsion transverse plus grande que 0.5 GeV/c a été produit dans l'acceptance du spectromètre. Cette coupure est appliquée à la génération des événements, quand les pions et les kaons ne sont pas encore désintégrés en muons. Ainsi, le nombre de muons issus de la désintégration des hadrons légers est fortement sous-estimé. Dans cette analyse, on fait l'hypothèse que ce bruit de fond est soustrait de façon parfaite. Cette hypothèse est particulièrement pertinente pour  $p_t > 2$  GeV/c (l'intervalle en  $p_t$  de cette analyse) où la contribution des muons issus de la désintégration des  $\pi, K$  est relativement faible. Ainsi, les distributions de muons reconstruites sont constituées exclusivement de muons issus de la désintégration du charme et de la

beauté. Ces distributions sont corrigées par l'efficacité de détection grâce à la méthode décrite dans [5, 6]. La valeur moyenne de l'efficacité de détection est environ de 96%.

Bien que PYTHIA, comme il a été utilisé dans les simulations PDC06, permette de reproduire la section efficace de production de la beauté comme elle a été prédite par les calculs NLO pQCD (Tab. 1.1), il sous-estime la section efficace de production du charme par un facteur  $\sim 2$ . Ceci est pris en compte en augmentant artificiellement l'amplitude des distributions des muons issus du charme et la distribution totale. Par ailleurs, la statistique disponible dans la production PDC06 permet seulement d'exploiter les distributions de muons jusqu'à  $\sim 10$  GeV/c. Afin de compenser ce manque de statistique, les distributions de muons ont été ajustées puis extrapolées jusqu'à  $p_t = 20$  GeV/c. Notons qu'au delà de  $p_t = 20$  GeV/c les muons issus de la désintégration des bosons  $W^\pm$  dominant [7]. La figure 1.1 montre les distributions en  $p_t$  des muons issus de la désintégration des hadrons beaux et charmés après avoir été multipliées et extrapolées comme il a été décrit précédemment. Le point de croisement charme/beauté est localisé à  $p_t \sim 6$  GeV/c. La beauté domine à haute impulsion transverse alors que le charme domine à basse impulsion transverse.

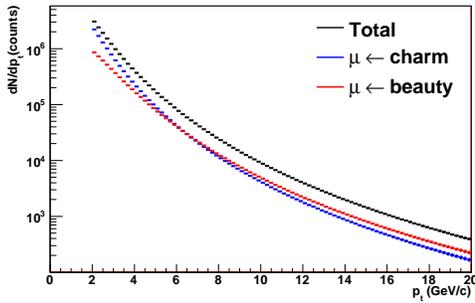


FIG. 1.1 – Distribution en impulsion transverse des muons issus de la désintégration de la beauté et du charme dans l'acceptance du spectromètre (statistique du scénario 1, voir section 1.4).

### 1.3 Méthode

La méthode pour extraire la section efficace différentielle inclusive des hadrons beaux et charmés est largement utilisée et bien documentée. Elle a été développée par la collaboration UA1 [8] et utilisée par les collaborations CDF [9] et D0 [10]. Elle a aussi été utilisée par la collaboration ALICE pour étudier la faisabilité de la mesure de la section efficace des hadrons beaux dans les collisions  $pp$  à  $\sqrt{s} = 14$  TeV avec les électrons simples [11], dans les collisions Pb–Pb à  $\sqrt{s_{NN}} = 5.5$  TeV avec les électrons simples [12], les muons simples et les dimuons [13]. Cette méthode comporte trois étapes :

1. Extraction du nombre de muons issu de la désintégration semi-leptonique des hadrons beaux (charmés) en effectuant un ajustement combiné sur la

distribution en  $p_t$  des muons. La fonction d'ajustement est :

$$(T - B)(f_c + R \times f_b). \quad (1.1)$$

Dans cette formule, T est le nombre total de muons, B est le nombre de muons issus de la désintégration semi-leptonique de la beauté (c'est un paramètre libre),  $f_c$  et  $f_b$  sont les formes dépendantes de modèles des distributions en  $p_t$  des muons issus de la désintégration semi-leptonique du charme et de la beauté respectivement, R est le nombre de muons issus de la désintégration semi-leptonique de la beauté sur le nombre de muons issus de la désintégration semi-leptonique du charme. C'est un paramètre libre fixé dans un intervalle de 60%. En effet, nous faisons l'hypothèse que les modèles prédisent la valeur du rapport R avec une précision meilleure que 60% ;

2. Correction de ce nombre de muons ( $N_{\mu \leftarrow B(D)}$ ) par la luminosité intégrée ( $\int L dt$ ), l'efficacité de détection ( $\epsilon$ ), l'acceptance et la cinématique de détection ( $F(\mu \leftarrow B(D))$ ). Cette correction est obtenue suivant l'équation (1.2). Le facteur  $F(\mu \leftarrow B(D))$  est obtenu par une simulation Monte Carlo.

$$\begin{aligned} \sigma^{B(D)} &= \frac{d\sigma^{B(D)}}{d\eta} (p_t^{B(D)} > p_t^{min})|_{-4 \leq \eta \leq -2.5} \\ &= \frac{N_{\mu \leftarrow B(D)}(\Phi^\mu)}{\int L dt} \times \frac{1}{\epsilon} \times F(\mu \leftarrow B(D)) \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$F(\mu \leftarrow B(D)) = \left[ \frac{\frac{d\sigma^{B(D)}}{d\eta} (p_t^{B(D)} > p_t^{min})|_{-4 \leq \eta \leq -2.5}}{\sigma^{B(D)}(\Phi^\mu)} \right]_{MC} \quad (1.3)$$

Dans l'équation (1.3) :

- i)  $\frac{d\sigma^{B(D)}}{d\eta} (p_t^{B(D)} > p_t^{min})|_{-4 \leq \eta \leq -2.5}$  est l'intégrale du spectre en  $p_t$  des hadrons beaux (charmés) dans l'intervalle de rapidité  $-4 \leq \eta^{B(D)} \leq -2.5$  et l'intervalle en impulsion transverse  $p_t^{B(D)} > p_t^{min}$  ;
- ii)  $\sigma^{B(D)}(\Phi^\mu)$  est l'intégrale de la distribution en  $p_t$  des hadrons beaux (charmés) qui se désintègrent en muons dans un espace de phase  $\Phi^\mu$  ( $-4 \leq \eta^\mu \leq -2.5$ ,  $p_t^\mu \geq 4$  GeV/c et  $p_t^\mu$ ) et
- iii)  $p_t^{min}$  est défini de façon à ce que 90% de hadrons beaux (charmés) dans l'acceptance du spectromètre aient un  $p_t$  plus grand que cette valeur (voir Fig. 1.2). Cette définition a été choisie de manière à minimiser la dépendance des corrections d'acceptance et de cinématique de désintégration aux fonctions utilisées dans Pythia pour les calculs Monte Carlo de  $F(\mu \leftarrow B(D))$  ;

3. Répétition des étapes 1. et 2. pour différents  $\Phi^\mu$  dans le but d'extraire la section efficace différentielle inclusive des hadrons beaux (charmés).

### 1.4 Nombre de muons attendu

Nous avons supposé une étude statistique pour trois scénarii de prises de données différents :

- scénario 1 : un mois de prises de données à basse

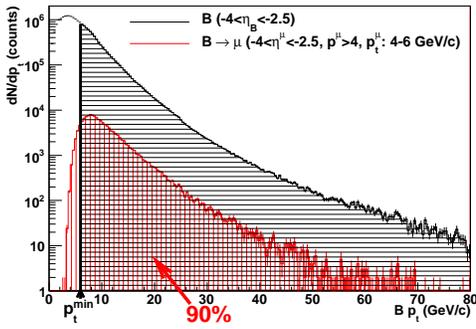


FIG. 1.2 – Illustration du calcul de  $F(\mu \leftarrow B)$ . Surface de lignes horizontales : production inclusive de hadrons beaux dans l'acceptance du spectromètre. Surface de lignes verticales : hadrons beaux qui se désintègrent en muons d'impulsion transverse  $4 \text{ GeV}/c \leq p_t \leq 6 \text{ GeV}/c$  dans l'acceptance du spectromètre.

luminosité,  $L = 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $t = 10^6 \text{ s}$  ;

- scénario 2 : un mois de prises de données à luminosité nominale,  $L = 3 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $t = 10^6 \text{ s}$  ;
- scénario 3 (scénario nominal) : un an de prises de données à luminosité nominale,  $L = 3 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $t = 10^7 \text{ s}$ .

La Figure 1.3 montre qu'un grand nombre de muons est attendu sur un large intervalle en  $p_t$  même dans le cas le plus défavorable du scénario 1. Ce nombre élevé entraîne une faible incertitude statistique. Même pour le scénario 1 à un  $p_t$  de  $20 \text{ GeV}/c$ , l'erreur statistique ne dépasse pas 3%. L'intervalle en  $p_t$  de la figure 1.3 va de  $2 \text{ GeV}/c$  à  $20 \text{ GeV}/c$ . En effet, en dessous de  $2 \text{ GeV}/c$  et au dessus de  $20 \text{ GeV}/c$  les muons issus respectivement de la désintégration des  $\pi$ ,  $K$  et de la désintégration des bosons  $W^\pm$  dominant.

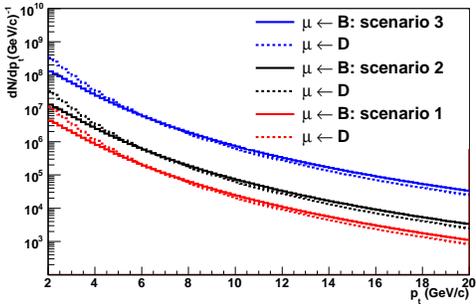


FIG. 1.3 – Nombre de muons en fonction de  $p_t$  dans l'acceptance du spectromètre pour les trois scénarii de prises de données décrits dans le texte.

## 1.5 Erreurs systématiques

Afin de déterminer les incertitudes systématiques relatives à la méthode d'ajustement, nous avons utilisé les prédictions des calculs de NLO pQCD avec différentes hypothèses sur la masse des quarks, les échelles QCD

de factorisation et de renormalisation et les PDFs [3]. Comme nous disposons seulement de ces prédictions pour les distributions de hadrons, nous avons commencé par effectuer des simulations Monte Carlo pour les reproduire. Nous avons alors extrait des formes biaisées  $f_c$  et  $f_b$  à partir des distributions en  $p_t$  des muons issus de la désintégration des hadrons. Ces dernières ont alors été utilisées pour l'ajustement combiné à partir duquel nous avons extrait les incertitudes systématiques. La figure 1.4 montre deux exemples d'ajustement obtenus avec ces formes biaisées. Il est important de remarquer sur la figure 1.4 que le  $\chi^2$  donne de bonnes indications sur la qualité de l'ajustement et permet donc de contraindre la systématique. Ainsi, nous avons éliminé tous les cas de figure où les formes  $f_c$  et  $f_b$  donnaient lieu à un ajustement combiné avec un  $\chi^2/d\text{ddl} \geq 100$ . En effet, à partir de cette valeur le  $\chi^2$  par degrés de liberté se dégrade notablement. L'erreur systématique est indépendante de  $p_t$ , elle est de l'ordre de 20% pour la beauté et de l'ordre de 15% pour le charme.

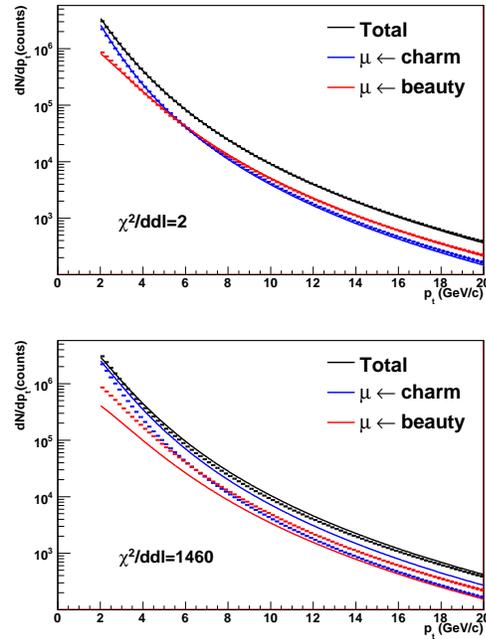


FIG. 1.4 – Exemples d'ajustements combinés pour deux combinaisons de formes biaisées comme décrit dans le texte. Les histogrammes (pointillés) représentent les distributions de muons et les courbes (lignes) représentent les fonctions d'ajustement. Le  $\chi^2/d\text{ddl}$  des ajustements est reporté sur les figures.

## 1.6 Section efficace différentielle inclusive des hadrons beaux et charmés

La figure 1.5 montre la section efficace différentielle inclusive pour les hadrons beaux et charmés. On peut voir, que la méthode (carrés) permet de reproduire correctement les résultats attendus (histogramme). Les er-

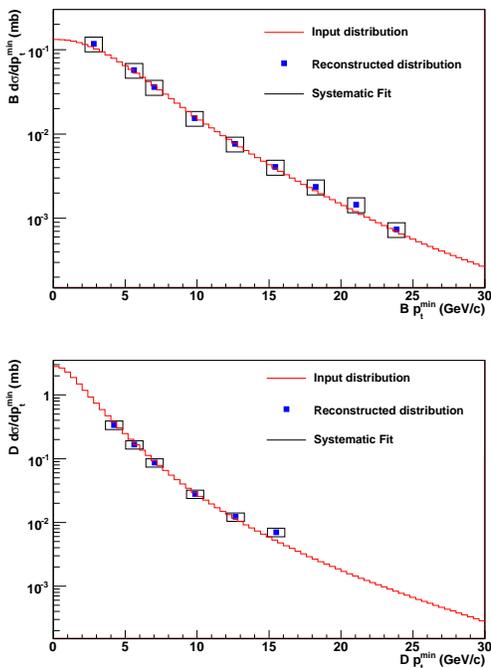


FIG. 1.5 – Section efficace différentielle inclusive pour les hadrons beaux (en haut) et pour les hadrons charmés (en bas) dans l’acceptance du spectromètre. Les histogrammes représentent ce que l’on s’attend à mesurer et les points représentent ce que l’on obtient avec la méthode. Les boîtes (lignes noires) représentent l’incertitude systématique sur le  $p_t^{min}$  (horizontal) et sur la méthode d’ajustements combinés (verticale).

reurs statistiques sont négligeables (section 1.4). Les erreurs systématiques portant sur l’ajustement combiné dominant (section 1.5) : elles sont d’environ 15% pour le charme et 20% pour la beauté. Comme le choix de  $p_t^{min}$  (section 1.3) minimise la dépendance de  $F(\mu \leftarrow B(D))$  aux formes des distributions utilisées dans Pythia l’erreur systématique portant sur  $F(\mu \leftarrow B(D))$  est négligeable. L’erreur statistique portant sur  $F(\mu \leftarrow B(D))$  évolue entre 0.1% et 6% pour la beauté et entre 0.4% et 6% pour le charme. Notons que cette incertitude peut encore être réduite puisqu’elle dépend uniquement de la simulation Monte Carlo utilisée pour calculer le facteur  $F(\mu \leftarrow B(D))$ . Par ailleurs, une erreur de normalisation (incertitude sur la luminosité et sur la section efficace  $pp$ ) de 5% n’est pas incluse dans la figure 1.5.

## 1.7 Conclusion

La mesure de la section efficace des hadrons beaux et charmés dans les collisions  $pp$  est essentielle pour de nombreuses analyses physiques portant sur les collisions  $pp$ ,  $pA$  et  $AA$  au LHC. Nous avons montré que cette mesure peut être menée avec succès pour les muons simples dans les collisions  $pp$  à  $\sqrt{s} = 14$  TeV en utilisant une méthode développée par la collaboration UA1 et utilisée depuis par les collaborations CDF et D0. La section efficace différentielle inclusive des hadrons beaux peut être reconstruite entre  $3 \text{ GeV}/c \leq p_t \leq 25 \text{ GeV}/c$ . La sec-

tion efficace différentielle inclusive des hadrons charmés peut être reconstruite entre  $4 \text{ GeV}/c \leq p_t \leq 15 \text{ GeV}/c$ . On peut reconstruire 82% de la section efficace totale des hadrons beaux et 17% de la section efficace totale des hadrons charmés. Notons qu’il ne s’agit pas de la section efficace totale dans tout l’espace de phase mais de la section efficace totale dans l’acceptance du spectromètre. L’erreur statistique est négligeable. L’erreur systématique est de l’ordre de 20% pour la beauté et de l’ordre de 15% pour le charme. Dans cette étude on a supposé que la contribution des muons issus de la désintégration des  $\pi$ ,  $K$  était négligeable. L’étape suivante consistera à effectuer une soustraction réaliste de ce bruit de fond. Notons que cette méthode peut être appliquée dans le canal électronique avec le tonneau central du détecteur ALICE. Les incertitudes statistiques et systématiques seront différentes. Ainsi, effectuer les deux analyses fournira un moyen de vérification utile.

## Références

- [1] B. Alessandro *et al.* [ALICE Collaboration], J. Phys. G **32** (2006) 1295.
- [2] M. L. Mangano, P. Nason and G. Ridolfi, Nucl. Phys. B **373** (1992) 295.
- [3] J. Baines *et al.*, arXiv :hep-ph/0601164.
- [4] Alice Experiment : Offline Project, <http://aliceinfo.cern.ch/Offline>.
- [5] Z. Conesa del Valle, L. Aphecetche, G. Martinez Garcia and Ch. Finck ”Efficiency determination strategy in the ALICE muon spectrometer” ALICE collaboration internal note to be published
- [6] Z. Conesa del Valle ”Performance of the ALICE muon spectrometer. Weak boson production and measurement in heavy-ion collisions at LHC” PhD disertation
- [7] Z. Conesa del Valle, A. Dainese, H. T. Ding, G. Martinez Garcia and D. C. Zhou, Phys. Lett. B **663** (2008) 202 [arXiv :0712.0051 [hep-ph]].
- [8] C. Albajar *et al.* [UA1 Collaboration], Phys. Lett. B **213** (1988) 405, Phys. Lett. B **256** (1991) 121 [Erratum-ibid. B **262** (1991) 497].
- [9] F. Abe *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **71** (1993) 500.
- [10] B. Abbott *et al.* [D0 Collaboration], Phys. Lett. B **487** (2000) 264 [arXiv :hep-ex/9905024].
- [11] F. Antinori *et al.*, ALICE collaboration internal note **ALICE-INT-2006-015**.
- [12] F. Antinori *et al.*, ALICE collaboration internal note **ALICE-INT-2005-33**.
- [13] R. Guernane *et al.*, ALICE collaboration internal note **ALICE-INT-2005-018**.