



## Etude de la production de Quarkonia dans les collisions p-p à 5 TeV au LHC

**Spécialité** Physique nucléaire

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Ingenieur/Master

**Unité d'accueil**

**Candidature avant le** 01/06/2018

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [CASTILLO-CASTELLANOS Javier-ernesto](mailto:CASTILLO-CASTELLANOS Javier-ernesto)  
+33 1 69 08 72 55  
[javier.castillo@cea.fr](mailto:javier.castillo@cea.fr)

### Résumé

Les quarkonia sont des sondes importantes pour l'étude du plasma de quarks et de gluons (QGP) crée lors des collisions d'ions lourds au LHC au CERN. Des effets nucléaires chauds (dus au QGP) s'y mélangent aux effets nucléaires froids et modifient la production de quarkonia. Les collisions proton-proton fournissent la référence en absence de tout effet nucléaire.

### Sujet détaillé

Quelques microsecondes après le Big Bang l'Univers se trouvait dans un état de plasma de quarks et de gluons (QGP). Cet état, prédit par la Chromodynamique Quantique, la théorie de l'interaction forte, est atteint pour des températures ou des densités d'énergie très élevées. Ces conditions sont réunies dans les collisions d'ions lourds ultra-relativistes au LHC au CERN.

Parmi les différentes observables du QGP, l'étude de la production d'hadrons contenant des quarks lourds (c ou b) et des quarkonia (états liés c-cbar ou b-bbar) est particulièrement pertinente pour comprendre les propriétés du QGP.

Les quarkonia sont des particules rares et très lourdes qui sont produites aux premiers instants de la collision. Ainsi elles sont créées avant même la formation du QGP et constituent des sondes idéales de celui-ci. En traversant le QGP, la paire quark/anti-quark serait écranté par les nombreux quarks et gluons du plasma. Il s'agit du mécanisme de suppression des quarkonia par écrantage de couleur par le QGP. Les différents états des quarkonia allant des énergies de liaison différentes, la probabilité de dissociation de chaque état sera différente, on parle alors de suppression séquentielle des quarkonia. De plus, si le nombre initial de paires quark/anti-quark est élevé, et si les quarks lourds thermalisent dans le QGP, alors des nouveaux quarkonia peuvent être créés par le QGP par recombinaison de quarks lourds. C'est le mécanisme de régénération. Au LHC, les Upsilon (b-bbar) et les J/psi (c-cbar) sont complémentaires, les premiers seraient plus aptes pour étudier la suppression séquentielle, alors que les seconds permettraient d'étudier d'éventuels mécanismes de régénération. De plus, des effets nucléaires froids (en opposition aux effets nucléaires chauds du QGP) peuvent aussi affecter la production des quarkonia même en l'absence du QGP. Ces derniers peuvent être étudiés grâce aux collisions p-Pb pour lesquelles la formation du QGP n'est pas attendue. Aussi bien pour les études des collisions Pb-Pb que p-Pb une référence en l'absence de tout effet nucléaire est nécessaire. Celle-ci est obtenue par l'étude des collisions p-p.

---

Nous proposons d'étudier la production des quarkonia dans les collisions p-p à une énergie dans le centre de masse de la collision ( $\sqrt{s}$ ) de 5 TeV au LHC grâce aux récentes données p-p accumulées par ALICE en novembre 2017. Les Quarkonia seront mesurés via leur décroissance en deux muons, lesquels seront reconstruits avec le spectromètre à muons d'ALICE.

Le candidat étudiera le nombre de quarkonia produits par collision p-p. Il devra en outre s'assurer de la bonne qualité des données, optimiser la soustraction du bruit combinatoire et l'extraction du signal, ainsi que de caractériser les performances du détecteur en termes de résolution en masse invariante. Il devra aussi calculer par des simulations Monte Carlo les corrections d'acceptance et d'efficacité de reconstruction.

Ce travail inclut la familiarisation de l'étudiant avec les outils de travail de la grille de calcul ainsi qu'avec les codes de simulation, reconstruction et analyse de la collaboration ALICE.

### **Mots clés**

Physique des particules, QGP, QCD, LHC, Quarkonia

### **Compétences**

### **Logiciels**

C++, ROOT, AliRoot

---

# Quarkonium production in p-p collisions at 5 TeV with ALICE at the LHC

## Summary

Quarkonia are important tools to study the quark-gluon plasma (QGP) formed in heavy ion collisions at the LHC at CERN. Hot nuclear matter effects (due to the QGP) mix with cold nuclear matter effects and affect the production of quarkonia. Proton-proton collisions provide a reference in the absence of any nuclear effect.

## Full description

A few micro-seconds after the Big Bang, the Universe was in a quark gluon plasma (QGP) state. Such state is predicted by Quantum Chromodynamics, which is the theory of strong interactions, and should be reached at very high temperature or energy density. Such conditions are reproduced in ultra-relativistic heavy ion collisions at the LHC at CERN.

Among the various QGP observables, the study of hadrons with heavy-flavour quarks (charm  $c$  or beauty  $b$ ) and quarkonia ( $c\bar{c}$  or  $b\bar{b}$  bound states) is particularly important to understand the properties of the QGP.

Quarkonia are rare and heavy particles that are produced in the initial stages of the collision, even before the QGP is formed and are therefore ideal probes of the QGP. As they traverse the QGP, the quark/anti-quarks pair will get screened by the many free quarks and gluons of the QGP. Quarkonia will then be suppressed by a colour screening mechanism in the QGP. Since the various quarkonium states have different binding energies, each state will have a different probability of being dissociated. This results in a sequential suppression pattern of the quarkonium states. Additionally, if the initial number of produced quark/anti-quark pairs is large and if heavy quarks do thermalise in the QGP, then new quarkonia could be produced in the QGP by recombination of heavy quarks. This mechanism is known as regeneration. At the LHC, Upsilon ( $b\bar{b}$ ) and J/psi ( $c\bar{c}$ ) are complementary. The former are thought to be more suited than to address the sequential suppression, while the latter should allow studying possible regeneration mechanisms. Finally, cold nuclear matter effects (as opposed to hot nuclear matter effects from the QGP) can also affect the production of quarkonia even in the absence of a QGP. These latter effects can be studied using p-Pb collisions where the formation of the QGP is not expected. For both, the study of Pb-Pb and p-Pb collisions a reference in the absence of any nuclear effect is necessary. This reference is provided by the study of p-p collisions. We propose to study the production of quarkonia in p-p collisions at a center of mass energy ( $\sqrt{s}$ ) of 5 TeV at the LHC using the new p-p data set accumulated by ALICE in November 2017. Quarkonia will be measured via their dimuon decay channel with the muons being reconstructed in the ALICE muon spectrometer.

The student will study the yield of produced quarkonia p-p collisions. The student is expected to contribute to the Quality Assurance of the used data set, optimise the subtraction of the combinatorial background and the extraction of the signal, as well as to help in the characterisation of the muon spectrometer performance in terms of invariant mass resolution. Furthermore, the student will perform Monte Carlo simulations to calculate the acceptance and efficiency corrections.

During this work the student will become familiar with the grid computing tools and the simulation, reconstruction and data analysis software of the ALICE Collaboration.

## Keywords

Particle Physics, QGP, QCD, LHC, Quarkonia

## Skills

## Softwares

C++, ROOT, AliRoot