

# Measurement of W bosons in p-Pb at 8.16 TeV and charmonia in Pb-Pb at 5.02 TeV with the CMS detector at the LHC

Mesure des bosons W en p-Pb à 8.16 TeV et  
des charmonia en Pb-Pb à 5.02 TeV avec le  
détecteur CMS au LHC

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay  
préparée à l'École Polytechnique

École doctorale n°576  
Particules, Hadrons, Énergie, Noyau, Instrumentation, Imagerie,  
Cosmos et Simulation (PHENIICS)  
Spécialité de doctorat: Physique hadronique

Thèse présentée et soutenue à l'École Polytechnique, le 8 octobre 2018, par  
**André Govinda Ståhl Leitón**

Composition du Jury :

????????????????	????????????????	Président du Jury
Lydia Roos	LPNHE, Paris	Rapporteuse
Boris Hippolyte	IPHC, Strasbourg	Rapporteur
Albert de Roeck	University of Antwerp	Examineur
Begoña de la Cruz Martínez	CIEMAT, Madrid	Examinatrice
Carlos Salgado Lopez	Universidad de Santiago de Compostela	Examineur
Sophie Henrot Versille	LAL, Orsay	Examinatrice
Raphaël Granier de Cassagnac	LLR, Palaiseau	Directeur de thèse

**Titre :** Mesure des bosons W en p-Pb à 8.16 TeV et des charmonia en Pb-Pb à 5.02 TeV avec le détecteur CMS au LHC.

**Mots clés :** Boson W, charmonia, physique des ions lourds, plasma de quarks et de gluons, CMS

**Résumé :** Des ions lourds rentrent en collision au grand collisionneur de hadrons à haute énergie, permettant d'étudier les propriétés de la matière nucléaire et de produire l'état chaud et dense de la matière déconfinée connu sous le nom de plasma de quarks et de gluons (QGP). Afin d'étudier les effets dus à la matière nucléaire dans les collisions d'ions lourds, cette thèse étudie la production de deux sondes dures importantes: les bosons W et les charmonia (mésons  $J/\psi$  et  $\psi(2S)$ ).

Les effets de la matière nucléaire froide, associés à la modification nucléaire des fonctions de distribution des partons (PDF), peuvent être caractérisés en étudiant la formation des bosons W dans les collisions d'ions lourds. La production des bosons W est un outil important pour évaluer les modifications des PDFs, qui ont une influence sur la diffusion dure initiale, puisque ces bosons n'interagissent pas fortement avec le milieu induit par la collision. L'analyse de la production des bosons W dans les collisions p-Pb à  $\sqrt{s_{NN}} = 8,16$  TeV avec le détecteur CMS est présentée dans la première partie de cette thèse. Les résultats sont en bon accord avec les calculs des PDFs incluant les modifications nucléaires, alors qu'ils rejettent fortement l'hypothèse du proton libre avec une rapidité du lepton vers l'avant. Puisque les mesures sont plus précises que les calculs du modèle, les résultats des bosons W ont le potentiel de contraindre les paramétrisations des PDF nucléaires, ce qui pourrait améliorer notre compréhension des effets des PDF sur d'autres sondes dures, comme les charmonia.

La production des charmonia est sensible à la formation et à l'évolution du milieu fortement interagissant formé lors de collisions d'ions lourds, en faisant ainsi une excellente sonde du QGP. La suppression ou l'augmentation des différents états du charmonium sont considérés comme des signatures de la présence du QGP. Dans cette thèse, la production prompte et non-prompte des mésons  $J/\psi$  est mesurée en collisions Pb-Pb à  $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$  TeV. En outre, la modification des mésons  $\psi(2S)$  par rapport aux mésons  $J/\psi$  est mesurée pour le même système de collision. Le facteur de modification nucléaire des charmonia est déterminé en fonction de la centralité, de la rapidité et de l'impulsion transverse  $p_T$ . Les rendements des mésons  $J/\psi$  prompts sont supprimés dans les collisions Pb-Pb par rapport aux collisions p-p normalisés par le nombre de collisions binaires, bien qu'une suppression plus faible soit observée à  $3 < p_T < 6,5$  GeV/c dans les collisions centrales. Les rendements des hadrons b, sondés par les charmonia non prompts, sont également supprimés dans toute la région cinématique mesurée, et une plus faible suppression est observée à haute  $p_T$ . En ce qui concerne les mésons  $\psi(2S)$ , ils se révèlent plus fortement supprimés que les mésons  $J/\psi$  dans les collisions Pb-Pb.



**Title :** Measurement of W bosons in p-Pb at 8.16 TeV and charmonia in Pb-Pb at 5.02 TeV with the CMS detector at the LHC

**Keywords :** W boson, charmonia, heavy-ion physics, quark-gluon plasma, CMS

**Abstract :** Heavy ions are collided at the Large Hadron Collider at high energies, allowing to inspect the properties of nuclear matter and to produce the hot and dense state of deconfined matter known as the Quark-Gluon Plasma (QGP). In order to probe the nuclear matter effects present in heavy-ion collisions, this thesis study the production of two important hard probes: W bosons and charmonia ( $J/\psi$  and  $\psi(2S)$  mesons).

The cold nuclear matter effects, associated to the nuclear modification of the parton distribution functions (PDFs), can be characterised by studying the formation of W bosons in heavy-ion collisions. The production of W bosons represents an important tool to assess the PDF modifications, which impact the initial hard scattering, since these bosons do not interact strongly with the collision-induced medium. The analysis of the W-boson production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV with the CMS detector is presented in the first part of this thesis. The results are in good agreement with PDF calculations including nuclear modifications, while they strongly disfavour the free-proton hypothesis at forward lepton rapidity. Since the measurements are more precise than the model calculations, the W-boson results have the potential to constrain the nuclear PDF parametrisations, which could eventually improve our understanding of the PDF effects on other hard probes, such as charmonia.

The production of charmonia is sensitive to the formation and evolution of the strongly-interacting medium formed in heavy-ion collisions, thus making of it an excellent probe of the QGP. The suppression or enhancement of the different charmonium states is considered a signature of the presence of the QGP. In this thesis, the production of prompt and nonprompt  $J/\psi$  mesons is measured in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV. In addition, the modification of the  $\psi(2S)$  mesons relative to  $J/\psi$  mesons is reported for the same collision system. The nuclear modification factor of charmonia is determined as a function of centrality, rapidity and transverse momentum  $p_T$ . The prompt  $J/\psi$  meson yields are suppressed in Pb-Pb collisions compared to binary-scaled p-p collisions, although a weaker suppression is observed at  $3 < p_T < 6.5$  GeV/c in central collisions. The yields of b hadrons, probed by the nonprompt charmonia, are also suppressed over the full kinematic region measured, and a reduced suppression is observed at high  $p_T$ . Regarding the  $\psi(2S)$  mesons, they are found to be more strongly suppressed than  $J/\psi$  mesons in Pb-Pb collisions.

