

**Titre:** Production des bosons Z et du double charme avec ALICE auprès du LHC

**Mots clés:** LHC, Collisions d'ions Lourds, Plasma de Quarks et des Gluons, ALICE, Charme

**Résumé:** Dans la nature, les propriétés de confinement du chromodynamique quantique (QCD) interdisent l'observation de quarks et de gluons libres. Cependant, dans des conditions extrêmes, un état de matière appelé le plasma de quarks et gluons (QGP) dans lequel les quarks et gluons sont déconfinés peut exister. Ce QGP peut être créé et étudié grâce à des collisions entre des noyaux lourds ultra-relativistes. Au Large Hadron Collider (LHC), des collisions entre des noyaux de plomb (Pb) prennent place et sont étudiées dans plusieurs expériences. Cette thèse présente les mesures de la production de bosons Z et de  $J/\psi$  reconstruits dans le spectromètre à muons du détecteur ALICE.

Certaines observables dans les collisions PbPb sont impactées par des effets non liés au QGP, effets qu'il est important de décorrélérer de ceux liés au QGP. Les distributions des partons dans les noyaux (nPDF) qui jouent un rôle important dans de nombreux processus en sont un très bon exemple. Les nPDF constituent un ingrédient crucial pour les calculs des sections efficaces dans des collisions d'ions lourds et elles ne peuvent pas être obtenues par des calculs QCD. Les nPDF sont obtenues par des ajustements aux données de certaines mesures incluant, parmi d'autres, celle des bosons électrofaibles. Ces dernières peuvent donc être utilisées pour contraindre ou vérifier la justesse des nPDFs. Dans cette thèse, la production des bosons Z dans des collisions PbPb à une énergie de 5.02 TeV par paire de nucléons dans le centre de masse avec le détecteur ALICE est détaillée. Les résultats montrent une forte préférence pour les modèles qui incluent des modifications nucléaires dans les PDF. Cela indique que les distributions des

partons dans les noyaux ne sont pas des superpositions simples des protons et neutrons.

Dans un avenir proche, des collisions proton-oxygène et oxygène-oxygène prendront place au LHC. Les estimations de la production du boson Z dans ces collisions, obtenues par l'extrapolation des sections efficaces actuelles des expériences ALICE et LHCb sont calculées. Avec la luminosité intégrée attendue pour ces deux systèmes de collision, la mesure apparaît comme impossible.

Dans une collision proton-proton, les particules lourdes comme le  $J/\psi$  sont produites dans une collision parton-parton dure et unique (SPS). Il est également possible de créer une paire de  $J/\psi$  via ce même processus. La densité des partons augmentant rapidement à hautes énergies, il devient possible que deux diffusions prennent place lors une seule collision pp. Cette double diffusion dure de parton (DPS) constitue un autre mécanisme de génération d'une paire de  $J/\psi$ . La production de paires de  $J/\psi$  peut par conséquent être utilisée pour étudier les contributions relatives des processus SPS et DPS. Dans cette thèse, une mesure de la section efficace des paires de  $J/\psi$  dans des collisions proton-protons à une énergie de 13 TeV par paire de nucléon dans le centre de masse est rapportée pour la première fois dans ALICE. Elle montre, malgré des incertitudes expérimentales importantes, un bon accord avec la section efficace obtenue par la collaboration LHCb. Les futures prises des données au LHC fourniront une statistique plus importante qui permettra de faire une mesure de meilleure précision dans laquelle les contributions SPS et DPS pourraient être séparées.

**Title:** Z boson and double charm production with ALICE at the LHC

**Keywords:** LHC, Heavy-Ion collisions, Quark-Gluon Plasma, ALICE, Charm

**Abstract:** In Nature, free quarks and gluons cannot be observed due to the confinement properties of quantum chromodynamics (QCD). However, in extreme conditions, a state of matter called the Quark-Gluon Plasma (QGP) is formed in which quarks and gluons are deconfined. The QGP can be created and studied by colliding ultrarelativistic heavy nuclei. At the Large Hadron Collider (LHC), collisions between lead (Pb) nuclei take place and are studied at the various experiments. In this thesis we present measurements on Z bosons and  $J/\psi$ , reconstructed in the muon spectrometer of the ALICE detector.

Observations from PbPb collisions are subject to effects unrelated to the QGP, and it is important to disentangle these from QGP effects. In particular, parton distributions are different in heavy nuclei than in unbound protons and neutrons. In order to describe the production of probes with large transverse momentum, special objects called nuclear parton distribution functions (nPDFs) are necessary. They are a crucial ingredient of calculations of cross sections in heavy ion collisions, but cannot be obtained from first principles calculations in QCD. Instead, they are instead obtained from fits to data which include, among others, measurements of electroweak bosons. The latter can therefore be used to constrain or verify the accuracy of the nPDFs. In this thesis, the production of Z bosons in PbPb collisions at a center-of-mass energy per nucleon pair of 5.02 TeV with the ALICE detector is reported. The results strongly show a preference for models that take nuclear modifications to PDFs into account. This indicates that parton distributions

in nuclei are not a simple superposition of protons and neutrons.

In the near future, proton-oxygen and oxygen-oxygen collisions will take place at the LHC. We detail projections of Z boson production in these collisions, obtained by extrapolating existing cross sections from the ALICE and LHCb experiments. With the expected integrated luminosities for the two collision systems, measurements are found to be unfeasible.

In proton-proton collisions, heavy particles such as the  $J/\psi$  are produced from a single partonic scattering (SPS). It is possible to create a pair of  $J/\psi$  from such a process, as opposed to a single  $J/\psi$ . However,  $J/\psi$  pairs can also be created through another mechanism. Because the densities of partons increase rapidly at high energies, it becomes possible for two parton scatterings to occur during a single pp collision. This is referred to as double parton scattering (DPS).  $J/\psi$  pairs can therefore be used as a tool to study relative contributions of SPS and DPS. In this thesis, a measurement of the production cross section of  $J/\psi$  pairs in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV is presented. The measurement serves as a first of its kind in ALICE. It shows good agreement the cross section obtained by LHCb collaboration, although experimental uncertainties are large. Future LHC data taking periods will provide a larger data sample, which will allow for a measurement with better experimental precision. This could enable a measurement in which SPS and DPS contributions can be separated.

3

Université Paris-Saclay

Espace Technologique / Immeuble Discovery

Route de l'Orme aux Merisiers RD 128 / 91190 Saint-Aubin, France

