



## Upgrades du spectromètre a muons de l'expérience ALICE au LHC

**Spécialité** Physique corpusculaire des accélérateurs

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DPhN/LQGP](#)

**Candidature avant le** 30/04/2019

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [FERRERO Andrea](#)  
+33 1 69 08 75 91  
[andrea.ferrero@cea.fr](mailto:andrea.ferrero@cea.fr)

**Autre lien** <http://alice.web.cern.ch>

### Résumé

L'expérience ALICE au LHC mesure des collisions p-p, p-Pb et Pb-Pb aux énergies les plus hautes actuellement atteintes. L'étude combinée de ces collisions permettra d'explorer en détail le plasma de quark et gluons.

### 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, telles que celles atteintes dans les collisions d'ions lourds ultra-relativistes au LHC au CERN. L'étude de la production des quarkonia, états liés de quarks lourds (charme c-cbar ou beauté b-bbar), est particulièrement pertinente pour comprendre les propriétés du QGP.

Les quarkonia sont des particules rares et lourdes produites aux premiers instants de la collision, avant la formation du QGP. Ceci en fait des sondes idéales du QGP. En le traversant, l'énergie de liaison de la paire quark/anti-quark serait écrantée par le champ de couleur des nombreux quarks et gluons du QGP, et les quarkonia peuvent être dissociés (suppression des quarkonia). Différents états quarkonia ayant différentes énergies de liaison, la probabilité de dissociation de chaque état sera différente (suppression séquentielle). 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, Upsilon (b-bbar) et J/psi (c-cbar) sont complémentaires, les premiers sont plus aptes pour étudier la suppression séquentielle, alors que les seconds permettent d'étudier la régénération (création de quarkonia par recombinaison des quarks du QGP). Les quarkonia sont mesurées à travers leur désintégration en paires de muons, qui sont reconstruits par le spectromètre a muons de l'expérience ALICE.

Suite à la prise des données du Run 1 et 2, le détecteur d'ALICE sera amélioré pour augmenter le taux d'interaction de 8 kHz à 50 kHz pour les collisions Pb-Pb. En combinaison avec un nouveau mode d'acquisition continu (sans déclenchement), cela permettra pendant le Run 3 et 4 d'enregistrer une statistique de collisions d'ions lourds d'environ 100 fois supérieure à celle du Run 1 et 2.

---

Le groupe du CEA-Saclay assume un rôle moteur dans les projets d'upgrade de l'expérience ALICE, spécifiquement pour le système de traçage des particules du spectromètre à muon. En particulier, un nouveau système de détecteurs au silicium sera ajouté au set-up actuel, et l'électronique de lecture des détecteurs existants sera adaptée au plus haut taux d'interaction prévu pour le Run 3 et 4.

L'étudiant(e) travaillera sur la nouvelle électronique de lecture du spectromètre à muons. L'étudiant(e) devra contribuer à l'algorithme de suppression de zéro en ligne, basé sur des puces FPGA, ainsi qu'à la caractérisation globale de la chaîne de lecture. En plus, l'étudiant(e) pourra travailler sur le filtrage et le regroupement en ligne des données brutes en provenance des détecteurs, ce qui aura un rôle critique en raison des taux d'interaction plus élevés du Run 3 et 4.

Pendant le travail de stage, l'étudiant(e) se familiarisera avec les différents détecteurs d'ALICE et l'électronique de lecture associée, ainsi que les logiciels de reconstruction online/offline et d'analyse des données de la collaboration. Le travail impliquera de fréquents voyages au CERN.

### **Mots clés**

Physique nucléaire, Chromodynamique quantique, ALICE, LHC, Plasma quark-gluon

### **Compétences**

Détecteurs gazeux proportionnels à multi-fils, électronique de lecture de détecteurs gazeux, systèmes d'acquisition des données, traitement et filtrage des données

### **Logiciels**

C++, Programmation à objets, ROOT

---

## Upgrades of the ALICE Muon Spectrometer for the LHC Run 3

### Summary

The ALICE experiment at the LHC measures p-p, p-Pb and Pb-Pb collisions at the highest ever energies. The combined measurement of such collisions will allow detailed studies of the quark-gluon plasma.

### Full description

A few micro-seconds after the Big Bang, the Universe consisted of an extremely hot and dense mixture of quasi-free elementary particles, the quark-gluon plasma (QGP). Such state is predicted by Quantum Chromodynamics, which is the theory of strong interactions, and should be formed at very high temperatures and/or energy densities. Such extreme conditions can be reached 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 which are produced in the initial stages of the collision, even before the QGP is formed, and are therefore ideal probes of the plasma properties. As they traverse the hadronic matter, the binding of quark/anti-quark pairs will get screened by the color field of the many free quarks and gluons in the QGP, and the quarkonium states might be dissociated. This color screening mechanism therefore leads to the quarkonia suppression 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 enough 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 is thought to be more suited to address the sequential suppression, while the latter should allow to study possible regeneration mechanisms. Quarkonia are measured via their dimuon decay channel with the muons being reconstructed in the muon spectrometer of ALICE, the LHC experiment devoted to the study of heavy-ion collisions.

Following the successful Run1+2 data taking, the ALICE apparatus will be upgraded to increase the interaction rate capabilities from 8 kHz to 50 kHz for Pb-Pb collisions. Combined with a novel self-triggered data acquisition mode, this will result in a statistics of heavy-ion collisions for Run 3/4 roughly 100 times larger than Run 1/2. The CEA-Saclay group is taking a leading role in the ALICE upgrade projects, specifically for the particle tracking in the muon spectrometer. In particular, a new silicon-based forward tracker (MFT) will be added to the existing apparatus, and the readout electronics of the existing detectors will be upgraded to cope with the increased interaction rate.

The student will work on the novel readout electronics for the tracking detectors of the ALICE muon spectrometer. The student is expected to contribute to the online zero-suppression logic based on state-of-the-art Field Programmable Gate Arrays (FPGAs), and to the overall characterization of the readout chain. In addition, the student will have the possibility to work on the online hit clustering and filtering, which will play a critical role at the higher interaction rates of Run 3.

During this work the student will become familiar with the ALICE detectors and associated readout electronics, as well as the online/offline reconstruction and data analysis software of the ALICE Collaboration. The work implies frequent travels to CERN.

### Keywords

Nuclear physics, Quantum chromodynamics, ALICE, LHC, Quark-gluon plasma

### Skills

Multi-gire proportional chambers, readout electronics for gaseous detectors, data acquisition systems, analysis and filtering of detector response

---

## Softwares

C++, Programmation a objets, ROOT