

# Étude des désintégrations de hadrons beaux vers des saveurs légères avec LHCb et auprès de FCC-ee.

---

## Study of charmless $b$ -decays at LHCb and FCC-ee.

### English

Measurements of  $b$ -hadron decays provide powerful tests of the Standard Model, and can help shed light on some of the great unanswered questions in particle physics, such as the matter-antimatter asymmetry in the universe and the underlying nature of the fermion families, their number and their mass hierarchy.

In search of answers to these questions, the LHCb experiment has produced leading measurements in rare decays and  $CP$  Violation in the heavy quark sector using the first two runs of its operation. A particularly interesting set of channels are  $B_{(s)} \rightarrow hh$  decays, which can provide powerful probes of QCD, as well as potential New Physics. Recent measurements of these decays from the first data-taking period of LHCb and Belle show tantalising patterns of deviations from the Standard Model flavor SU(3) symmetry of the strong interactions. Understanding the origin of these deviations requires the analysis of additional data, which LHCb is in the process of collecting. In fact, the experiment has recently removed its hardware trigger and is relying on a purely software-based trigger system, in order to maximise its efficiency in signatures of interest. First data from 2024 confirm the impressive increase in trigger yields of key physics channels. The candidate will analyse this brand new data-set, investigating  $B_{(s)} \rightarrow hh$  signatures that are expected to particularly benefit from the new trigger system.

The second part of the thesis subject concerns physics sensitivity studies to place detector requirements for experiments at the Future Circular Collider FCC-ee. This projected facility at CERN features a 90 km long tunnel hosting an  $e^+e^-$  collider with a centre-of-mass energy spanning from the  $Z$  pole (91 GeV) to the top quark pair production (365 GeV). The exquisite design luminosity makes it simultaneously an electroweak gauge bosons, Higgs and top factory. The operation at the  $Z$  pole provides about  $10^{13}$   $Z$  decays, resulting in abundant samples of  $b$ ,  $c$  and  $\tau$  particles, making a case for the continuation of the Flavour physics program and inducing specific detector requirements. Among the channels to be studied within this thesis

framework, the decays of heavy-flavoured particles involving neutral pions (useful for  $CP$ -symmetry breaking measurements) will likely place stringent requirements on the energy resolution of the electromagnetic calorimeter. The canonical mode we'd like to explore in this Ph.D. program is the decay  $B^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$  featuring a subsequent Dalitz decay  $\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$  of one of the two  $\pi^0$ . The presence of the electron pair in the final state will allow simultaneously calorimetric electron reconstruction to be established and a time-dependent study of the decay to be performed.

This Ph.D. program is embodied in a research team, comprising researchers from Clermont and Orsay universities, with longstanding collaborative researches: Christina Agapopoulou (CR, IJCLab Orsay), Simon Akar (MCF, Clermont), Yasmine Amhis (DR, IJCLab Orsay), Stéphane Monteil (PR, Clermont) and M-H. Schune (DR, IJCLab, Orsay). The successful candidate will spend a year and a half in each institute with regular meetings with the supervisors at distance. Regular stays at CERN are foreseen in the course of this 3-years program.

## French

Les mesures de précision des désintégrations des hadrons B constituent des tests puissants du modèle standard et peuvent contribuer à éclairer certaines des grandes questions non-résolues en physique des particules, telles que l'asymétrie matière-antimatière dans l'univers et la nature des familles de fermions et de leur hiérarchie de masse.

En quête de réponses à ces questions, l'expérience LHCb a produit des mesures de premier plan sur les désintégrations rares et la violation de  $CP$  dans le secteur des quarks lourds au cours de ses deux premiers cycles d'exploitation. Un ensemble de décroissances particulièrement intéressant concerne les désintégrations  $B_{(s)} \rightarrow hh$ , qui peuvent fournir des sondes puissantes pour étudier la QCD, mais aussi la recherche de nouvelles physiques. Les mesures récentes de ces désintégrations à partir de la première période de collecte de données de LHCb et Belle montrent des signes de déviation par rapport à la symétrie  $SU(3)$  de saveur prédite par le Modèle Standard dans les interactions fortes. Comprendre l'origine de ces déviations nécessite l'analyse de données supplémentaires, que LHCb est en train de collecter. En effet, l'expérience a récemment mis à jour son système de déclenchement via un système de déclenchement entièrement basé sur le logiciel, afin de maximiser son efficacité pour les signaux d'intérêt. Les premières données de 2024 confirment l'augmentation impressionnante de l'efficacité du système de déclenchement pour les signatures de physique clés. Le/La candidat.e analysera le tout nouvel ensemble de données, en étudiant le canal de décroissance  $B_{(s)} \rightarrow hh$  qui devrait particulièrement bénéficier du nouveau système de déclenchement.

La seconde partie du sujet de cette thèse concerne les études de sensibilité

à la physique afin de définir les besoins en détecteurs pour les expériences au futur collisionneur circulaire FCC-ee. Ce projet de futur accélérateur au CERN qui pourrait succéder au LHC propose un tunnel de 90 km de long qui abrite un collisionneur  $e^+e^-$  dont l'énergie du centre de masse s'étend du pôle  $Z$  (91 GeV) à la production de paires de quarks top (365 GeV). La luminosité anticipée (quelques  $10^{36}$  cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> au pôle du  $Z$ ) permettra de produire plus de mille milliards de boson  $Z$ , quelques centaines de millions de bosons  $W$  et plusieurs millions de bosons de Higgs et de quarks top dans un environnement expérimental peu bruyé. Le fonctionnement au pôle  $Z$  fournira environ  $10^{13}$  de désintégrations du boson  $Z$ , ce qui produira en cascade des échantillons abondants de particules  $b$ ,  $c$  et  $\tau$ , justifiant la poursuite du programme de physique des saveurs et induisant des performances spécifiques de détecteurs. Parmi les canaux à étudier dans le cadre de cette thèse, les désintégrations de particules lourdes impliquant des pions neutres (utiles pour les études de la brisure de symétrie  $CP$ ) imposeront probablement des exigences strictes à la résolution en énergie du calorimètre électromagnétique. Le mode canonique que nous aimerions explorer dans le cadre de ce doctorat est la désintégration  $B^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$  avec une désintégration Dalitz consécutive  $\pi^0 \rightarrow e^+e^-\gamma$  de l'un des deux pions de l'état final. La présence de la paire d'électrons dans l'état final permettra simultanément d'établir une reconstruction calorimétrique des électrons et de réaliser une étude de cette désintégration en fonction de son temps propre.

Cette thèse de doctorat se déroulera au sein d'un groupe de recherche, composé de chercheur.e.s des universités de Clermont et d'Orsay, qui entretiennent des collaborations de longue date : Christina Agapopoulou (CR, IJCLab Orsay), Simon Akar (MCF, Clermont), Yasmine Amhis (DR, IJCLab Orsay), Stéphane Monteil (PR, Clermont) et M-H. Schune (DR, IJCLab, Orsay). La candidate ou le candidat retenu.e passera un an et demi dans chaque université, avec des réunions régulières qui impliqueront les superviseurs à distance. Des séjours réguliers au CERN sont prévus au cours de ce programme de trois ans.

## Contacts:

Y. Amhis yasmine.amhis@ijclab.in2p3.fr

S. Monteil monteil@in2p3.fr