

## Proposition de sujet de thèse

[Summary in English below]

**Titre :** *Analyses en amplitudes des désintégrations de mésons beaux en trois corps sans particule charmée avec l'expérience LHCb* :  $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$

**Noms et coordonnées des directeurs de thèse :**

Pr. Eli Ben-Haïm, 01 44 27 84 24 (benhaim@in2p3.fr)

Dr. Matthew Charles, 01 44 27 38 89 (matthew.charles@lpnhe.in2p3.fr)

**Groupe :** LHCb au LPNHE

**Lieu de travail :** LPNHE Paris (Sorbonne Université, Campus Pierre et Marie Curie).

**Déplacements :** déplacements réguliers au CERN, déplacements éventuels dans des pays membres de la collaboration et des lieux de conférences.

**Nom de la collaboration :** LHCb

**Thème de recherche :** Physique de saveurs lourdes, désintégrations hadroniques, analyse en amplitude dans le plan de Dalitz, contribution à la recherche de nouvelle physique

**Remarque :** stage de pré thèse obligatoire

### Description du sujet et de la nature du travail proposé :

L'un des buts de l'expérience LHCb au CERN est d'étudier la physique des hadrons beaux. Elle permet de traquer la physique au-delà du modèle standard, éventuellement la mettre en évidence et étudier ses propriétés. La thèse proposée portera sur une étude des désintégrations hadroniques des mésons beaux vers un état final sans particule charmée ( $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ ), à la fois avec l'ensemble des données prises lors de la première phase de LHCb : 2011-2018 (Runs 1-2), et avec les nouvelles données au redémarrage du LHC (dites de Run 3).

En 2022, presque tous les sous-détecteurs de LHCb ont été remplacés ou mis à niveau, ainsi que son système de déclenchement. L'expérience adopte une approche de reconstruction et d'analyse en temps réel (*Real Time Analysis* - RTA). Ceci permet à l'expérience d'opérer avec une luminosité cinq fois plus grande par rapport à celle de la phase précédente, tout en augmentant l'efficacité de déclenchement pour les désintégrations hadroniques. Ainsi, LHCb pourra analyser plus de collisions et enregistrer un lot de données plus important. L'ensemble des données du Run 3, d'un volume environ 10 fois plus important que l'échantillon existant des Runs 1-2, seront disponibles fin 2025, avant la fin de la thèse.

Les désintégrations hadroniques du méson B permettent d'étudier un large spectre d'observables physiques, parmi lesquelles on compte les rapports de branchement, les asymétries directes de CP, les phases dites « forte » et « faible » et les angles du triangle d'unitarité. Ces études fournissent de l'information sur la dynamique des interactions à la fois forte et faible. Le rapport d'embranchement typique des modes en question est en dessous de  $10^{-5}$ ; leur étude nécessite donc, en général, un grand échantillon de données et un usage de méthodes puissantes pour rejeter du bruit de fond. Le groupe LPNHE-LHCb a déjà effectué de telles analyses avec les données de LHCb et de BABAR. Une mesure des rapports de branchement des différents modes  $B_{d,s}^0 \rightarrow K_S h^+ h'^-$  (où h et h' sont des pions ou des kaons), utilisant la totalité des données des Runs 1-2, est dans une phase de finalisation, et sera suivie d'analyses en amplitudes qui incluent l'espace de phases de la désintégration, dit le « plan de Dalitz », de sorte à étudier tous les modes résonnants intermédiaires. Cette méthode, bien qu'impliquant des difficultés techniques dans l'analyse, permet d'exploiter l'interférence

entre les états résonnants intermédiaires pour lever les dégénérescences sur certaines phases. Elle donnera, entre autres, une mesure de l'asymétrie CP de chacun de ces états, qui est un ingrédient pour la recherche de la physique au-delà du modèle standard dans les modes dits « pingouins » ( $b \rightarrow qqs$  et  $b \rightarrow ssd$ ). Une thèse déjà en cours traite une analyse en amplitude intégrée sur le temps de la désintégration  $B_d^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ , avec les données des Runs 1-2 (plus celles à venir en 2023). En ajoutant les données du Run 3, le.a futur.e doctorant.e effectuera une analyse intégrée sur le temps de la désintégration plus rare  $B_s^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ , et une analyse dépendante du temps de  $B_d^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ .

Le groupe du LPNHE est impliqué dans de l'activité de recherche et développement pour la jouvence (*upgrade*) dite de phase 2 de LHCb. Il s'agit de l'électronique de lecture du trajectographe en amont de l'aimant (le *Upstream Tracker*), et du système de déclenchement logiciel qui est une partie du projet RTA. Le.a doctorant.e pourrait s'intégrer dans l'une de ces activités.

Ce sujet de thèse propose la possibilité de s'intégrer à une activité de recherche récente, avec des enjeux importants, dans le cadre d'une collaboration dynamique. A la fin de sa thèse le.a candidat.e connaîtra des outils complexes d'analyse de physique de particules, aura une connaissance approfondie des performances du nouveau détecteur LHCb, et sera familiarisé.e avec un « objet » particulièrement crucial de cette physique : le méson B.

#### Documentation :

Page web de l'expérience LHCb (<https://lhcb.web.cern.ch/>)

Page web du LPNHE (<https://lpnhe.in2p3.fr/>)

Articles sur les mesures des rapports de branchement des canaux  $B_{d,s}^0 \rightarrow K_S h^+ h^-$ , avec  $1 \text{ fb}^{-1}$  de données (JHEP10(2013)143, <http://arxiv.org/abs/1307.7648>) et avec  $3 \text{ fb}^{-1}$  de données (<https://arxiv.org/abs/1707.01665>)

Article sur une détermination de l'angle CKM gamma à partir des désintégrations d'un méson beau vers trois hadrons non-charmés, effectuée par le groupe en collaboration avec des théoriciens (<https://arxiv.org/abs/1812.06194>)

Thèse de Louis Henry : « Recherche de nouvelle physique dans les désintégrations à trois corps de mésons B sans particule charmée dans l'état final avec l'expérience LHCb » (<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01412761>)

Thèse d'Emilie Bertholet : « Search for new physics in charmless three-body decays » (<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02932152>)

Thèse de Thomas Grammatico : « Measurement of the branching fractions of  $B_0s \rightarrow K_S h h$  decays in LHCb, insights on the CKM angle gamma and monitoring of the Scintillating Fibre Tracker for the LHCb upgrade » (<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03648655>)

Les analyses en amplitude et les canaux de désintégration du B en trois corps sans charme : <http://www.slac.stanford.edu/~benhaim/divers/HDR.pdf> (thèse d'HDR)

**Summary in English:**

**Title:** Amplitude analysis of charmless three-body decays of bottom mesons at LHCb:  $B_{(s)}^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$

**Supervisors:** Prof. Eli Ben-Haïm, Dr Matthew Charles.

**Travel:** Regular trips to CERN; occasional travel to other collaborating institutes and to conferences.

**Note:** Pre-thesis internship (stage M2) mandatory.

**Topic :** The candidate will analyse the charmless decays  $B^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$  and  $B_s^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ , using both the existing LHCb data sample (2011-2018) and data from the upgraded LHCb detector in Run3 (2022-2025), which will increase the effective sample size by an order of magnitude. Charmless B decays are suppressed but offer sensitivity to a range of physics parameters, in many cases including the CKM Unitarity Triangle angles through CP asymmetries. Three-body decays are of particular interest, since the decay amplitude can vary as a function of position in the phase space, often expressed as a Dalitz plot. The LPNHE-LHCb group has carried out a number of studies of these and related decays, and is currently working on measurements of branching fractions and on a time-integrated amplitude analysis of  $B^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$  using the available data (with 2023 data to be added). Exploiting the larger Run3 sample, the candidate will carry out a time-integrated amplitude analysis of the rarer channel  $B_s^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ , and a time-dependent amplitude analysis of  $B^0 \rightarrow K_S K^+ K^-$ . The LPNHE-LHCb group is also involved in R&D for a future second upgrade, working on the tracking (UT) and software trigger (RTA) systems. It would be possible for the candidate to contribute to one of these activities.