

Campagne 2023 Contrats Doctoraux Instituts/Initiatives

Proposition de Projet de Recherche Doctoral (PRD)

Appel à projet IPhyInf - Initiative Physique des infinis 2023

Intitulé du Projet de Recherche Doctoral

Mesure de la masse du quark top et des paramètres de fragmentation du quark b dans des événements $t\bar{t}$ avec des mésons J/ψ et D dans l'état final. Études et réalisation du détecteur de temps hautement granulaire (HGTD) dans l'expérience ATLAS auprès du LHC

Lien web : <https://lpnhe.in2p3.fr/spip.php?rubrique7>

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Collaboration/>

<https://atlas.cern/updates/atlas-news/scientific-potential-high-luminosity-lhc>

Résumé:

Le sujet d'analyse de la thèse porte sur la mesure de la masse du quark top et des paramètres de fragmentation du quark b, dans le mode de désintégration d'un quark b en J/ψ ou en mésons D avec les données de l'expérience ATLAS (A Toroidal Lhc Apparus) collectées lors des Run-2 et 3 auprès du LHC (Large Hadron Collider) au CERN près de Genève. Une partie instrumentale additionnelle porte sur la participation au développement du détecteur de temps hautement granulaire (HGTD) pour les traces à haute rapidité qui sera mis en place pour la phase de haute luminosité du LHC.

Contexte :

ATLAS est l'une des expériences auprès du LHC dont la troisième période de fonctionnement (Run-3) a débuté l'été 2022. Le groupe ATLAS du LPNHE est constitué d'une petite trentaine de physiciennes et physiciens permanents et non permanents. L'équipe technique est composée d'ingénieurs et techniciens des services d'électronique, de mécanique et d'informatique. Le groupe a participé à la construction du calorimètre électromagnétique ainsi qu'à l'évaluation de ses performances en tests en faisceaux, avec des rayons cosmiques et avec les données de collision. Il est maintenant impliqué dans la mise au point du détecteur à pixels (ITK) et du calorimètre High Granularity Timing Detector (HGTD), qui seront utilisés pour la phase de très haute luminosité du LHC (HL-LHC). Cette phase, qui débutera en 2029, verra la luminosité intégrée (i.e le nombre d'événements collectés) augmenter de près d'un facteur cinq par rapport aux conditions de prises de données actuelles. Le détecteur HGTD permettra une amélioration significative des performances d'ATLAS grâce à une meilleure séparation entre les événements issus de la collision dure et ceux liés à l'empilement. Ce détecteur viendra compléter le nouveau détecteur de traces d'ATLAS ITk, dont le groupe participe également à la construction, pour combiner les informations spatiales que celui-ci obtiendra, avec des informations temporelles, et ainsi de bien associer les traces au point de collision d'où elles auront été émises.

Sujet :

Le sujet d'analyse de la thèse porte sur une mesure de précision de la masse du quark top ainsi que sur la mesure des paramètres de fragmentation du quark b. Le quark top est le seul fermion élémentaire ayant une masse de l'ordre de l'échelle électrofaible. Il se trouve ainsi être un secteur privilégié pour l'étude de la brisure de la symétrie électrofaible. La masse du quark top est un des paramètres fondamentaux du Modèle Standard. Les corrections radiatives à la masse du quark top dépendent de la masse du boson W et de la masse du boson de Higgs. Il est donc important de pouvoir comparer avec une grande précision ces différentes mesures de masse afin de pouvoir mettre en

évidence de possibles effets non prévus par le Modèle Standard. L'encadrant travaille sur le quark top depuis plus d'une dizaine d'années et a déjà encadré trois thèses, une sur des mesures de section efficace de production du quark top (2012), une sur la mesure de la masse dans le canal en dilepton (2015) et dans le canal en J/ψ (2020).

L'étudiant.e travaillera sur un lot d'événements dans lesquels l'un des quarks top se désintègre en un W (donnant un lepton et un neutrino) et un quark b, qui lui-même se désintègre soit en un $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ soit en un méson D. La mesure s'effectuera avec la méthode dite des patrons ("templates") qui est basée sur la comparaison entre les données et les simulations d'une observable sensible à la masse du quark top. Cette observable est la masse invariante formée des trois leptons/traces issus du quark top. Cette mesure nécessite une grande statistique et bénéficiera donc de l'utilisation de l'ensemble des données accumulées, en particulier celles du Run-3. Des études spécifiques seront effectuées sur des effets systématiques, en particulier liées à la modélisation de la fragmentation des quarks b. Une méthode en tout point similaire à celle utilisée pour la mesure de la masse servira à mesurer le paramètre r_b (Lund-Bowler) permettant de décrire la fragmentation des quark b. Par ailleurs, l'application de méthodes de machine learning devrait permettre d'améliorer la sélection des événements de signal par rapport à ceux provenant de processus de bruit de fond.

Ces analyses et mesures nécessiteront des ressources de calcul et de stockage conséquentes pour effectuer les différentes étapes (génération, simulation, reconstruction, analyses). L'étudiant.e bénéficiera en particulier des ressources de calcul au Centre de Calcul du CC-IN2P3 et des ressources du site local de la grille de calcul. Le futur directeur de thèse est lui-même impliqué dans le développement de ces ressources depuis de nombreuses années.

La partie instrumentale de la thèse s'inscrit dans le contexte de la mise à niveau détecteur pour la phase de haute luminosité HL-LHC et pourra comporter plusieurs aspects. Le LPNHE est en charge de la réalisation d'environ un quart des unités de détection constituées des modules assemblés sur les supports. Le futur co-encadrant est l'actuel responsable du groupe ATLAS et le responsable du projet HGTD pour le laboratoire. Le Technical Design Report (TDR) du sous-détecteur auquel le co-encadrant a participé est disponible depuis 2020. Par ailleurs, des études prospectives ont été effectuées en 2019 par le futur encadrant qui ont montré les gains importants dans la mesure de la masse du quark top dans le canal J/ψ attendus à la fin de la période de haute luminosité.

L'étudiant.e sera impliqué dans les activités de simulation du détecteur afin d'optimiser les caractéristiques et d'en connaître les performances futures pour les analyses de physique. Cette étude fera office lors de la première année de tâche de qualification pour devenir auteur de la collaboration ATLAS. L'étudiant.e pourra aussi contribuer dès le début de la thèse à la validation de prototypes et à la mise en place du système d'assemblage des unités de détection qui constitueront le détecteur final.

L'étudiant.e sera amené.e à présenter régulièrement ses travaux dans les réunions de travail de la collaboration ATLAS. Des séjours au CERN seront à effectuer.

• Publications dont Frédéric Derue est signataire :

- Prospects for measurement of the top quark mass using $t\bar{t}$ events with $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ decays with the upgraded ATLAS detector at the High Luminosity LHC, ATLAS Coll., ATL-PHYS-PUB-2018-042
- ATLAS Computing Conceptual Design Report, ATLAS Coll., CERN-LHCC-2020-015,

• Publications dont Didier Lacour est signataire :

- Technical Design Report: A High-Granularity Timing Detector for the ATLAS Phase-II Upgrade, ATLAS Coll., CERN-LHCC-2020-007 ; ATLAS-TDR-031