

M2 internship proposal / Proposition de sujet de stage M2

Year / Année

2016-2017

Laboratory name /
Nom du laboratoire

Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules (LAPP)

Internship supervisor / Coordonnées du Responsable de stage

Name of supervisor /
Responsable de stage

Marco Delmastro

Group /
Groupe

ATLAS

Phone number /
Téléphone

+33 4 50 09 17 85
+41 75 4 11 86 90

E-mail

marco.delmastro@lapp.in2p3.fr

Training period subject and activities / Sujet de stage at travail demandé

Members of the team /
Membres de l'équipe d'encadrement

N. Berger, L. Di Ciaccio, M. Delmastro, C. Goy, T. Guillemin,
N. Lorenzo Martinez, T. Hryn'Ova, S. Jézéquel, I. Koletsou,
R. Lafaye, J. Lévêque, E. Sauvan, I. Wingerter-Seez

Title / Intitulé de stage

Precision Higgs Physics and search for Physics Beyond the Standard Model with the Higgs Boson decaying into two photons with the ATLAS experiment at LHC

Physique de précision du secteur de Higgs et recherche de phénomènes au-delà du Modèle Standard via les désintégrations du boson de Higgs en deux photons avec l'expérience ATLAS au LHC

Summary of the internship project / Résumé du travail demandé

The discovery in 2012 of the Higgs boson by the ATLAS and CMS Collaborations at the CERN Large Hadron Collider (LHC) has opened a new era for particle physics. In the Standard Model (SM) of particle interactions, the Higgs boson appears as the quantum excitation of one of the components of the scalar Higgs fields, responsible via the Brout-Englert-Higgs mechanism for the electroweak symmetry breaking. The complete characterization of the properties of the Higgs boson represents the center of the ATLAS physics program during the LHC Run 2. The search for deviations of the observed Higgs properties from the SM predictions will therefore allow to probe physics Beyond the Standard Model (BSM), and especially those phenomena involving very heavy new states that could not be directly produced and observed at the LHC, but the existence of which would nevertheless affect Higgs properties through virtual effects. The decay mode of the Higgs boson in two photons played a fundamental role in the Higgs boson discovery in 2012, and allows since then to precisely study its differential production cross-section as a function of various kinematical and production-related variables, e.g. the Higgs transverse momentum, the number of accompanying jets, the angular distribution of the decay photons.

During the 2015-2016 Run 2 data taking, the ATLAS experiment will collect up to 40 fb^{-1} of proton-proton collisions at a center-of-mass energy of 13 TeV, while during the full Run 2 period, extending until 2018, a total dataset collected is expected to reach about 100 fb^{-1} . **The internship will take place within the ATLAS Collaboration, and will be centered around the measurement of the fiducial and differential cross-section of the Higgs boson by exploiting its decay in photon pairs, using the 2015-2016 dataset.** The internship will focus on the **measurement of the differential cross-sections as a function of transverse momentum of photon pairs, the number of associated jets, and the angular properties of the diphoton system.** Particular attention will be devoted to **modeling of the SM background processes.** The Higgs to diphoton decay signal superimposes in fact to the continuous production of direct QCD photon pairs, and to the production of photon-plus-jets and di-jet objects, where the jets contain neutral mesons decaying in photons and get reconstructed as genuine direct photon in the detector. The contribution of these background process can in principle be directly constrained from data, but work is needed to **reduce the associated uncertainties**, especially in those **region of Higgs boson kinematics where the description by the current simulation is less precise.** A program will be pursued during the internship to study the **data-to-simulation agreement** of these processes, the evaluation of the **jet-to-photon fake rate** and **contributions of the different background sources**, and to develop an **improved modeling of the sum of the various background contributions.**

The internship will be within the focus of to the current activities of the ATLAS LAPP Group dedicated to the Higgs to diphoton studies. It will require a regular presence at CERN, and could potentially evolve on a PhD thesis project.

.....

La découverte en 2012 du boson de Higgs par les Collaborations ATLAS et CMS au Large Hadron Collider (LHC) du CERN a ouvert une nouvelle ère pour la physique des particules. Dans le Modèle Standard (MS) des interactions des particules élémentaires, le boson de Higgs apparaît comme l'excitation quantique de l'une des composantes du champ scalaire de Higgs, responsable, à travers le mécanisme de Brout-Englert-Higgs, de la brisure de la symétrie électrofaible. La caractérisation complète des propriétés du boson de Higgs est au centre du programme de physique d'ATLAS pour la seconde période de fonctionnement (Run 2) du LHC. La recherche de différences entre les propriétés observées du boson de Higgs et les prévisions de MS va donc permettre de sonder la physique au-delà du modèle standard (BSM), et en particulier ces phénomènes qui prévoient l'existence de nouveaux états très lourds, qui ne pouvaient pas être produits et observés directement au LHC, mais dont l'existence affecterait, par des effets virtuels, les propriétés du boson de Higgs. Le mode de désintégration du boson de Higgs en deux photons a joué un rôle fondamental dans la découverte du boson de Higgs en 2012. Depuis, il permet d'étudier précisément ses sections efficaces de production différentielles en fonction de différentes variables cinématiques, comme par exemple l'impulsion transverse du boson de Higgs, le nombre de jets coproduits, ou encore la distribution angulaire des photons de désintégration.

Lors de la prise de données 2015-2016 au Run 2 du LHC, l'expérience ATLAS va collecter jusqu'à 40 fb^{-1} de collisions proton-proton à une énergie dans le centre-de-masse de 13 TeV. Puis, pendant toute la période du Run 2, s'étendant jusqu'en 2018, il est prévu de recueillir une quantité de données qui devrait atteindre environ 100 fb^{-1} . Le stage aura lieu au sein de la collaboration ATLAS, et sera centré autour de la mesure des sections efficaces de production fiducielles et différentielles du boson de Higgs, en exploitant sa désintégration en paires de photons et en utilisant l'ensemble des données 2015-2016. Le stage se concentrera sur la mesure des sections efficaces en fonction de l'impulsion transverse de paires de photons, du nombre de jets associés, ainsi que sur la mesure des propriétés angulaires du système di-photons. Une attention particulière sera consacrée à la modélisation des processus de bruit du MS. En effet, les photons provenant des désintégrations du boson de Higgs se superposent à la production continue de paires de photons directs, à la production de photons-plus-jets et à des di-jets, où les jets contiennent des mésons neutres se désintégrant en photons, et qui sont reconstruits comme d'authentiques photons directs dans le détecteur. La contribution de ces processus de bruit peut, en principe, être directement contrainte à partir des données. Mais, il est nécessaire de travailler à la réduction des incertitudes associées, en particulier dans les régions cinématique où la description par la simulation du détecteur est la moins précise. Durant le stage un programme sera mis en place pour étudier l'accord entre les données et la simulation pour ces processus, évaluer le taux de mauvaise identification de jets en photons et les contributions des différentes sources de bruits, ainsi que pour développer une modélisation améliorée de leur somme.

Le stage aura lieu dans le cadre des activités actuelles du groupe ATLAS du LAPP dédiés aux mesures des propriétés du boson de Higgs dans ces désintégrations en deux photons. Il demandera une présence régulière au CERN, et pourrait potentiellement évoluer sur un projet de thèse.

Optional information on a possible PhD subject / Indication éventuelle d'ouverture vers un sujet de thèse

The PhD thesis will be centered on the **measurement of the fiducial and differential cross-sections of the Higgs boson exploiting its decay in photon pairs**. The full dataset of proton-proton collisions collected by the ATLAS experiment at a center-of-mass of 13 TeV during the complete Run 2 in the 2015-2018 period will be used, amounting to about 100 fb^{-1} .

An important part of the thesis work will be devoted to the **study and optimization of photon calibration performance**, and in particular to the improvement systematic uncertainties associated with photon energy scale and resolution. This goal will be pursued by implementing a data-driven measurement of the detector material distribution, and with the improvement of the calibration of the response of the electromagnetic calorimeter longitudinal layers. A connection with the operation and calibration of the ATLAS Liquid Argon calorimeter is foreseen.

The core of the thesis work will be the **analysis of the Run 2 data in order to measure the Higgs fiducial and differential cross-sections**. Several aspects of the analysis will be covered, ranging from the background modeling, to the optimization of the fiducial regions and of the segmentation of the kinematical variables used to measure the differential cross section, to the statistical treatment and the unfolding technique needed to extract the final results.

The results will be interpreted using the **Effective Field Theory (EFT)** approach, that allows to identify or constrain the effects of BSM phenomena within a very general theoretical framework. The analysis will search for deviations from the SM predictions and may uncover evidence for new BSM physics, or will otherwise set experimental constraints on a large class of BSM theories.

The geographical proximity of LAPP and CERN, about 50 km and 35' drive, will allow a strong involvement both with the data taking and detector operation and with the participation in person to the working meetings of the ATLAS Higgs Group. A period of several months of continuous presence at CERN is in particular foreseen.

.....
Le projet de thèse sera centré sur la mesure des sections efficaces de production différentielles du boson de Higgs en exploitant sa désintégration en paires de photons. L'ensemble des collisions proton-proton enregistrées par l'expérience ATLAS à une énergie dans le centre-de-masse de 13 TeV pendant la totalité du Run 2 du LHC, de 2015 à 2018, soit environ 100 fb^{-1} , sera utilisée.

Une partie importante du travail de thèse sera consacrée à l'étude et à l'optimisation des performances de l'étalonnage en énergie des photons, et en particulier à l'amélioration des incertitudes systématiques associés à l'échelle d'énergie et à la résolution en énergie des photons. Cet objectif sera poursuivi par une mesure précise de la distribution des matériaux constituant le détecteur avec les données, et par l'amélioration de l'étalonnage de la réponse des couches longitudinales du calorimètre électromagnétique. Une implication avec l'opération et les activités reliées à l'étalonnage du calorimètre à argon liquide d'ATLAS est prévue.

Le cœur du travail de thèse sera l'analyse des données du Run 2, afin de mesurer les sections efficaces de production fiducielles et différentielles du boson de Higgs. Plusieurs aspects de l'analyse seront abordés : la modélisation des bruits de fond, l'optimisation des régions fiducielles et la segmentation des variables cinématiques utilisées pour mesurer les sections efficaces, le traitement statistique et les techniques de dé-convolution nécessaires afin d'extraire les résultats finaux.

Les résultats seront interprétés en utilisant une approche basée sur un Lagrangien Effectif (Effective Field Theory, EFT). Cette approche permettra d'identifier des phénomènes BSM ou de poser des limites dans un cadre théorique très général. L'analyse visera à chercher des écarts entre les mesures et les prévisions du MS. Elle pourrait alors découvrir des preuves de phénomènes au-delà du MS, ou bien établira des contraintes expérimentales sur une grande classe de théories BSM.

La proximité géographique du LAPP avec le CERN, environ 50 km et 35' en voiture, permettra à la fois une forte implication avec la prise de données et le fonctionnement du détecteur, ainsi que la participation en personne aux réunions de travail du Groupe Higgs d'ATLAS. Une période de plusieurs mois de présence continue au CERN est notamment prévue.