



## HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Date de la soutenance : **20 septembre 2021**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur CHANON Nicolas**

Titre de la thèse : « *Photons, bosons de Higgs et quarks top pour sonder les symétries du modèle standard au LHC, et préparations pour le HL-LHC* »

### Résumé



Le LHC (CERN) constitue un formidable outil pour tester les symétries du Modèle Standard (SM) de la physique des particules. Ce document de HDR décrit les travaux que j'ai effectués en étudiant des processus de production de photons, bosons de Higgs et quarks top. Les deux premiers chapitres abordent la découverte du boson de Higgs et la mesure de son couplage au quark top, et sont des illustrations de tests de la symétrie électrofaible. Plusieurs mesures de processus du SM sont aussi présentées qui constituent des tests de la chromodynamique quantique. Le chapitre trois décrit mes contributions à l'amélioration du futur trajectographe de CMS pour le LHC Haute Luminosité (HL-LHC, démarrage prévu en 2027). Le dernier chapitre effectue des études phénoménologiques pour de nouvelles idées de recherches de brisure des symétries globales du SM : symétrie de Lorentz, CPT et CP.

Le premier chapitre présente des études sur la thématique des photons, depuis la calibration du calorimètre électromagnétique de CMS jusqu'aux recherches et mesures du boson de Higgs dans le canal de désintégration  $H \rightarrow 2$  photons. Mes contributions à l'algorithme du « particle flow » CMS, visant à reconstruire toutes les particules de la collision proton-proton par une utilisation optimale des sous-détecteurs, ont permis de proposer de nouvelles variables d'isolation des photons. Ces variables m'ont permis de mesurer le processus QCD diphoton avec une grande précision (de 8 à 11%), processus qui est un bruit de fond pour les recherches du boson de Higgs. Je les ai aussi employées pour l'identification des photons issus du boson de Higgs (avec un algorithme d'apprentissage automatique) dans l'analyse de découverte du boson de Higgs en 2012. J'ai ensuite mené la première mesure différentielle du boson de Higgs dans le canal  $H \rightarrow 2$  photons à CMS, qui a permis de comparer les données avec les prédictions du SM pour de nombreuses observables cinématiques.

Le deuxième chapitre décrit les analyses effectuées sur la mesure du couplage du boson de Higgs au quark top dans CMS avec la Méthode des Elements de Matrice (MEM). Les aspects techniques de la MEM sont détaillés, et la méthode est appliquée aux recherches du boson de Higgs dans le canal  $t\bar{t}H$  multilepton, l'un des plus sensibles au processus  $t\bar{t}H$ . L'analyse  $t\bar{t}H$  multilepton qui a conduit l'observation du processus  $t\bar{t}H$  est décrite ; la MEM a permis une amélioration de la signification de 10% dans le canal avec trois leptons dans l'état final. La MEM est aussi appliquée à un autre processus du modèle standard dans l'état final avec un quark top et un boson Z, où elle améliore la signification de 20% par rapport à une analyse déjà optimisée, aboutissant à la première évidence ( $3\sigma$ ) pour ce processus.

Le troisième chapitre aborde les préparations pour le HL-LHC. Quelques études sont présentées qui visent à estimer la précision attendue sur la diffusion de bosons vecteurs, processus clé pour tester l'unitarité du SM autour du TeV. Les méthodes innovantes d'apprentissage profond employées ici permettront une amélioration en signification allant jusqu'à 40%. La suite du chapitre se focalise sur les améliorations du futur trajectographe de CMS pour le HL-LHC. Dans un premier temps, les tests en faisceau de prototypes de modules de détection à pistes de Silicium, auxquels j'ai participé, ont permis de caractériser les modules et la chaîne d'acquisition des données. Dans un deuxième temps je suis devenu responsable scientifique du projet Tracker Endcap Double Discs, qui vise à remplacer les bouchons du trajectographe actuel pour le HL-LHC. Je décris les activités effectuées à l'IP2I avec l'équipe d'ingénieurs et techniciens pour la R&D, ainsi que les prochaines étapes de pré-production et production (de 2022 à 2025).

Le quatrième et dernier chapitre propose de nouvelles idées d'analyses pour tester les symétries globales du SM, dont les brisures peuvent fournir des mécanismes alternatifs palliant les problèmes de la baryogénèse électrofaible standard. Une analyse phénoménologique est conduite avec le processus top-antitop au LHC pour estimer la précision attendue sur le paramètre gouvernant la brisure de symétrie de Lorentz : une précision de plusieurs ordres de grandeur meilleure qu'au Tevatron est trouvée. Une analyse similaire pour sonder la symétrie CPT avec le processus top solitaire est aussi réalisée, qui serait une première bien que la précision attendue soit moins bonne. Quelques réflexions pour tester la brisure de symétrie de Lorentz avec les photons au LHC sont aussi proposées. Enfin, une étude préliminaire est menée pour rechercher une nouvelle source de violation de CP dans le secteur top, qui permettrait de contraindre de nouveaux paramètres de la théorie effective des champs qui ne l'ont encore jamais été.