

**Titre :** Recherche de la production de paires de bosons de Higgs dans le canal de désintégration  $b\bar{b}\tau^+\tau^-$  avec le détecteur CMS auprès du LHC

**Mots clefs :** Boson de Higgs, Expérience CMS, Collisionneur LHC, Modèle standard et au-delà, Déclenchement

**Résumé :** Cette thèse présente une recherche pour la production de paires de bosons de Higgs (HH) en utilisant les données de collisions proton-proton à  $\sqrt{s} = 13$  TeV enregistrées avec l'expérience CMS auprès du LHC au CERN. Les événements avec les deux bosons de Higgs se désintégrant en une paire de quarks b et de leptons  $\tau$  ( $HH \rightarrow b\bar{b}\tau^+\tau^-$ ) sont utilisés pour l'exploration des mécanismes de production résonante et non-résonante. La production de HH donne accès à l'auto-couplage triliénaire du boson de Higgs et pourrait révéler la présence de physique au-delà du modèle standard.

Un effort important a été consacré au développement d'un algorithme pour la reconstruction des leptons  $\tau$  se désintégrant en hadrons ( $\tau_h$ ) et un neutrino au sein du déclenchement calorimétrique de premier niveau de l'expérience. Ceci a été amélioré pour faire face à l'augmentation de l'énergie dans le centre de masse et de la luminosité instantanée de collisions au Run II du LHC. L'algorithme se fonde sur une technique avancée de regroupement dynamique de l'énergie et utilise des critères dédiés pour la réduction du bruit de fond. Sa structure, son optimisation, sa mise en place, la vérification de son fonctionnement pour le redémarrage à 13 TeV au LHC, et la mesure de sa performance sont présentés ici. Cet algorithme est un élément essentiel dans la recherche de la production HH.

L'investigation du processus  $HH \rightarrow b\bar{b}\tau^+\tau^-$  utilise les trois canaux de désintégration du système  $\tau^+\tau^-$  avec au moins un  $\tau_h$  dans l'état final. La sélection et la catégorisation des événements sont conçues pour optimiser la sensibilité de la recherche, et des techniques d'analyse multivariée sont mises en place pour distinguer le signal du bruit de fond. Les résultats sont présentés en utilisant une luminosité intégrée de  $35.9 \text{ fb}^{-1}$ . Ils sont compatibles, compte tenu des incertitudes expérimentales, avec les prédictions du modèle standard pour les bruits de fond. Des limites supérieures à la production résonante et non-résonante de HH sont évaluées et permettent de contraindre l'espace des paramètres du modèle standard supersymétrique minimal et les couplages anormaux du boson de Higgs. Les limites supérieures observées et attendues correspondent respectivement à environ 30 et 25 fois la prédiction du modèle standard, et représentent l'un des résultats les plus sensibles à la production de HH jamais atteints au LHC.

Les perspectives pour l'observation de la production de HH au LHC sont enfin discutées. Les résultats actuels sont extrapolés pour une luminosité intégrée de  $3000 \text{ fb}^{-1}$  en considérant différentes hypothèses pour la performance du détecteur et de l'analyse.

**Title :** Search for Higgs boson pair production in the  $b\bar{b}\tau^+\tau^-$  decay channel with the CMS detector at the LHC

**Keywords :** Higgs boson, CMS experiment, LHC collider, Standard model and beyond, Trigger

**Abstract :** This thesis describes a search for Higgs boson pair (HH) production using proton-proton collision data collected at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the CMS experiment at the CERN LHC. Events with one Higgs boson decaying into two b quarks and the other decaying into two  $\tau$  leptons ( $HH \rightarrow b\bar{b}\tau^+\tau^-$ ) are explored to investigate both resonant and nonresonant production mechanisms. HH production gives access to the Higgs boson trilinear self-coupling and is sensitive to the presence of physics beyond the standard model.

A considerable effort has been devoted to the development of an algorithm for the reconstruction of  $\tau$  leptons decays to hadrons ( $\tau_h$ ) and a neutrino for the Level-1 calorimeter trigger of the experiment, that has been upgraded to face the increase in the centre-of-mass energy and instantaneous luminosity conditions expected for the LHC Run II operations. The algorithm implements a sophisticated dynamic energy clustering technique and dedicated background rejection criteria. Its structure, optimisation and implementation, its commissioning for the LHC restart at 13 TeV, and the measurement of its performance are presented. The algorithm is an essential element in the search for HH production.

The investigation of the  $HH \rightarrow b\bar{b}\tau^+\tau^-$  process explores the three decay modes of the  $\tau^+\tau^-$  system with one or two  $\tau_h$  in the final state. A dedicated event selection and categorisation is developed and optimised to enhance the sensitivity, and multivariate techniques are applied for the first time to these final states to separate the signal from the background. Results are derived using an integrated luminosity of  $35.9 \text{ fb}^{-1}$ . They are found to be consistent, within uncertainties, with the standard model background predictions. Upper limits are set on resonant and nonresonant HH production and constrain the parameter space of the minimal supersymmetric standard model and anomalous Higgs boson couplings. The observed and expected upper limits are about 30 and 25 times the standard model prediction respectively, corresponding to one of the most stringent limits set so far at the LHC.

Finally, prospects for future measurements of HH production at the LHC are evaluated by extrapolating the current results to an integrated luminosity of  $3000 \text{ fb}^{-1}$  under different detector and analysis performance scenarios.