



## Recherche de production de boson de Higgs associée à un quark top unique et étude des propriétés CP du couplage top-Higgs dans le canal diphoton avec l'expérience CMS au LHC

**Spécialité** Physique corpusculaire des accélérateurs

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DPhP](#)

**Candidature avant le** 30/06/2024

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [MALCLES Julie](#)

+33 1 69 08 86 83

[julie.malcles@cea.fr](mailto:julie.malcles@cea.fr)

**Autre lien**

[https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?print=oui&matricule\\_prop=52060](https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?print=oui&matricule_prop=52060)

### Résumé

Ce stage préparatoire à une thèse vise à étudier deux axes possibles d'amélioration des méthodes d'analyse des données utilisées sur le Run2 en vue d'une publication sur les données du Run3 pour la recherche des productions ttH et tH du boson de Higgs et la mesure des propriétés CP du couplage H-tt.

### Sujet détaillé

Il y a 10 ans, les collaborations ATLAS et CMS au LHC au CERN découvraient le boson de Higgs, avec 10 fb<sup>-1</sup> de collisions proton-proton à une énergie dans le centre de masse de 7 à 8 TeV. Depuis, les propriétés de cette particule ont été testées par les deux expériences et sont compatibles, dans les incertitudes, avec les propriétés prédites par le Modèle Standard de la physique des particules. Le Modèle Standard (MS) présente néanmoins un certain nombre de limitations, comme l'absence d'explication pour la matière noire par exemple, nous poussant à le considérer comme un modèle effectif à basse énergie, et à chercher à mettre en évidence ses limites. En l'absence de preuve directe de « Nouvelle Physique », accroître la précision des mesures des propriétés du boson de Higgs (son spin, sa parité, et ses couplages aux autres particules) reste un des chemins les plus prometteurs.

La mesure de la production associée à une paire de quark top-antitop (ttH) donne un accès direct au couplage de Yukawa du quark top, paramètre fondamental du MS. La production ttH est un processus rare, deux ordres de grandeur plus rare que la production dominante au LHC par fusion de gluons. Ce mode de production a été observé pour la première fois en 2018, séparément par les expériences ATLAS et CMS, et en combinant statistiquement les résultats de recherches dans plusieurs canaux de désintégration. Plus récemment, avec le dataset complet du Run 2 (données prises entre 2016 et 2018 avec un total de 138 fb<sup>-1</sup> à 13 TeV), ce mode de production a été observé aussi en utilisant seulement le canal de désintégration en deux photons, et une première mesure de ces propriétés CP a été publiée par les deux expériences avec une exclusion de l'hypothèse couplage CP-impair pur à 3 sigmas. La

---

production associé à un quark top unique est de l'ordre de 5 fois plus faible et n'a encore jamais été observée expérimentalement. Grâce aux recherches dans les canaux en deux photons et en leptons multiples, des contraintes très lâches ont été cependant esquissées pour la première fois récemment. Ce mode de production est très sensible aux propriétés CP du couplage H-tt, puisqu'en cas de couplage impair, sa production est augmentée de manière importante. Nous proposons dans la thèse suivant ce stage d'étudier conjointement les deux modes de production (ttH et tH), ainsi que les propriétés CP du couplage H-tt avec les données du Run 3 (données enregistrées en ce moment et jusqu'à 2026, avec potentiellement 250 fb<sup>-1</sup> à 13.6 TeV à la fin du Run) dans le canal diphoton. Bien que de premières mesures de la violation de CP dans le secteur du Higgs existent, l'exclusion de petites contributions CP-impaires demandera plus de données et la poursuite de ces études avec le Run 3 pourrait mettre en évidence des déviations du SM. Nous nous proposons dans cette analyse de données d'apporter de nombreuses améliorations à la stratégie générale de l'analyse afin de tirer le meilleur parti de l'échantillon de données dont nous disposerons. Lors du stage, les données du Run2 seront utilisées pour explorer deux axes possibles d'amélioration de la sensibilité: l'amélioration de la discrimination entre les hypothèses CP pair et CP impair et l'amélioration de la réjection du bruit de fond, grâce à des techniques d'apprentissage automatique profond.

### **Mots clés**

LHC, CMS, Higgs boson

### **Compétences**

### **Logiciels**

---

# Search for Higgs boson production with a single top and study of the CP properties of the top-Higgs coupling in the diphoton channel with the CMS experiment at the LHC

## Summary

This M2 internship, followed by a PhD thesis, aims at studying two possible paths to improve the sensitivity of the analysis published on Run 2 data for the publication of results on Run3 data, regarding the constraints on ttH and tH production and on the CP properties of the H-tt coupling.

## Full description

Ten years ago, the ATLAS and CMS experiments at LHC at CERN discovered a new boson, with a dataset of proton-proton collisions of about  $10 \text{ fb}^{-1}$  at the centre of mass energy of 7 to 8 TeV. Since then, the properties of this particle have been tested by both experiments and are compatible with the Higgs boson properties predicted by the Standard Model of particle physics (SM) within the uncertainties. In absence of direct probes of New Physics, increasing the accuracy of the measurements of the properties of the Higgs boson (its spin, its parity and its couplings to other particles) remains one of the most promising path to pursue.

The measurement of the ttH production allows the direct access to the top quark Yukawa coupling, fundamental parameter of the SM. ttH production is a rare process, two orders of magnitude smaller than the dominant Higgs boson production by gluon fusion. This production mode has been observed for the first time in 2018 separately by the CMS and ATLAS experiments, by combining several decay channels. More recently, with the full Run 2 dataset (data recorded between 2016 and 2018, with a total of  $138 \text{ fb}^{-1}$  at 13 TeV), this production mode was observed also using solely the diphoton decay channel, and a first measurement of its CP properties was provided again by both experiments, with the exclusion of a pure CP odd state at  $3\sigma$ . The associated production with a single top quark is about 5 times smaller than the ttH production and has never been observed. Thanks to the searches in the diphoton and multilepton channel, very loose constraints on this production modes were set for the first time recently. This production mode is very sensitive to the H-tt coupling CP properties, since in case of CP-odd coupling, its production rate is largely increased. We propose in the thesis following this internship to study jointly the two production modes (ttH and tH) and the H-tt coupling CP properties with Run 3 data (data being recorded now and until 2026, with potentially about  $250 \text{ fb}^{-1}$  at 13.6 TeV) in the diphoton decay channel. If there was some CP violation in the Higgs sector, excluding small pseudo-scalar contributions will require more data. Pursuing these studies with Run 3 and beyond may allow to pinpoint small deviations not yet at reach. We propose to bring several improvements to the Run 2 analysis strategy and to use novel reconstruction and analysis techniques based on deep-learning in order to make the most of the available dataset. During the internship, the Run2 data will be used to assess two possible paths to improve the sensitivity of the analysis using machine learning techniques.

## Keywords

## Skills

## Softwares