



## Etude de la production de paires de bosons de Higgs dans le canal bbtatau

**Spécialité** Physique corpusculaire des accélérateurs

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DPhP](#)

**Candidature avant le** 20/06/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [Portales Louis](#)  
+33 1 69 08  
[louis.portales@cea.fr](mailto:louis.portales@cea.fr)

### Résumé

Le groupe CMS du CEA Paris-Saclay cherche un(e) candidat(e) motivé pour travailler sur la production de paires de bosons de Higgs dans le canal bbtatau. Il ou elle s'intéressera au choix des algorithmes de déclenchement pour une analyse utilisant les données du Run 3, visant à contraindre l'auto-couplage du boson de Higgs

### Sujet détaillé

L'observation du boson de Higgs en 2012 a permis de confirmer la validité du Modèle Standard (MS) de la physique des particules, tel qu'il a été établi dans les années 60. Plus particulièrement, elle a confirmé celle du mécanisme de Brout-Englert-Higgs, expliquant comment les bosons vecteurs  $W^\pm$  et  $Z^0$ , et par extension les autres particules fondamentales, acquièrent leur masse. La validité du MS a été depuis renforcée au travers d'une décennie de mesures de plus en plus précises des propriétés de ce boson scalaire – masse, largeur de désintégration, couplages... – par les collaborations ATLAS

et CMS. Une propriété importante du boson de Higgs reste cependant à mesurer: son autocouplage. Dans le MS, ce paramètre est fixé par la masse du boson de Higgs et la "vacuum expectation value", qui sont toutes deux connues précisément. Mesurer cet autocouplage permettrait donc d'établir de manière solide la consistance du MS, ou bien d'apporter des réponses à certaines des grandes questions encore ouvertes en physique des particules si sa valeur ne correspond pas à celle pr éditée. Par exemple, en considérant la masse du boson de Higgs mesurée – avec une précision de l'ordre du pourmille –, l'autocouplage devient négatif à très hautes énergies, permettant l'apparition d'un nouvel état de vide de plus basse énergie, atteignable par effet tunnel. Par ailleurs, le champ de Higgs constitue un outil extrêmement utile pour l'étude du phénomène d'inflation dans l'univers primordial, et la mesure d'une déviation de la valeur de son autocouplage par rapport au MS pourrait fournir une explication concrète à l'apparition de l'asymétrie entre le contenu en matière et antimatière dans notre univers. La mesure de l'autocouplage du boson de Higgs constitue donc l'une des priorités des collaborations ATLAS et CMS dans les années à venir.

Le Run 3 du LHC a débuté en 2022, et a déjà permis à l'expérience CMS d'enregistrer 60 /fb de données de collision proton-proton à une énergie au centre de masse de  $\sqrt{s} = 13.6$  TeV. La prise de données va continuer jusqu'en 2025, et devrait permettre de porter la luminosité collectée à environ 250 /fb, plus de doublant la statistique disponible

---

grâce au Run précédent à  $\sqrt{s} = 13$  TeV. Ce nouvel ensemble de données constitue une excellente occasion pour améliorer les analyses visant à contraindre l'autocouplage du boson de Higgs. Les contraintes les plus fortes sur ce paramètre sont obtenues par l'étude de la production de paires de bosons de Higgs (HH), ou l'autocouplage apparaît dans les diagrammes d'ordre dominant (LO) directement. La production HH est cependant un processus extrêmement rare, avec une section efficace approximativement mille fois inférieure à celle de la production de boson de Higgs seul.

Parmi les modes de désintégration possibles de la paire de boson de Higgs, le canal  $HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$  se montre particulièrement intéressant pour le Run 3. De par son rapport d'embranchement favorable de 7.3 %, et de la contamination modérée de bruits de fonds, il constitue l'un des trois canaux les plus sensibles. De plus, il s'agit du canal bénéficiant actuellement du plus d'innovations dans les techniques d'analyses, en particulier au travers de nouveaux algorithmes d'identification des jets originant de quarks b, et des leptons tau, et plusieurs directions sont déjà identifiées afin de pouvoir encore améliorer la sensibilité des analyses à venir, par exemple au travers du développement et de l'implémentation de nouveaux algorithmes de déclenchement, qui permettront d'augmenter grandement l'efficacité de sélection des événements du signal dans certaines régions de l'espace de phase sensibles à l'autocouplage.

L'étudiant(e) prendra part au développement d'une analyse utilisant les données collectées par CMS pendant le Run 3 du LHC, visant à contraindre l'auto-couplage du boson de Higgs, par l'étude de la production HH, ou l'un des H se désintègre en une paire de quarks b, et l'autre en une paire de leptons tau. Il ou elle s'intéressera entre autres à l'étude dans le contexte de l'analyse de nouveaux algorithmes de déclenchement implémentés pour la prise de données en 2022 et 2023, ainsi qu'à l'optimisation de la sélection et de la catégorisation des événements, pour maximiser les gains en sensibilité attendus.

### **Mots clés**

CMS, boson de Higgs, LHC

### **Compétences**

Caractérisation d'algorithmes de déclenchement, évaluation d'efficacités, pureté, acceptances... Estimation de la sensibilité au signal, analyse statistique.

### **Logiciels**

Python, C/C++, ROOT

---

## Study of Higgs boson pair production in the $b\bar{b}\tau\tau$ channel

### Summary

The CMS group of CEA Paris-Saclay is looking for motivated candidates to work on Higgs boson pair production in the  $b\bar{b}\tau\tau$  channel. They will look into the optimisation of the trigger selection for an analysis using Run 3 data, aiming at constraining the Higgs boson self-coupling.

### Full description

The observation of the Higgs boson in 2012 confirmed the validity of the Standard Model (SM) of particle physics, as it was established in the 1960's. More precisely, it confirmed that of the Brout-Englert-Higgs mechanism, which explains how the  $W$  and  $Z$  bosons, and by extension the other fundamental particles, acquire their mass. The SM validity has been strengthened since then, through a decade of more and more precise measurements of the properties of this scalar boson – mass, decay width, couplings... – by the ATLAS and CMS Collaborations. However, an important property of the Higgs boson has yet to be measured: its self-coupling. In the SM, this parameter is fixed by the Higgs boson mass and the vacuum expectation value  $v$ , that are now both precisely known. Measuring the Higgs self-coupling would therefore provide a strong closure test of the SM or, if the measured value does not correspond to the predicted one, it could bring answers to some of the great open questions in particle physics. For instance, considering the measured value of the Higgs boson mass – to a per-mille precision –, the self-coupling becomes negative at high energy scales, allowing for a new, lower energy vacuum state to appear, that can be reached through tunnelling. Moreover, the Higgs field is a great tool for the study of inflation in the early universe, and a measured deviation of the Higgs self-coupling value with respect to the SM prediction could contribute to explaining the origin of the observed matter-antimatter asymmetry. Measuring this parameter is therefore one of the current priorities of the ATLAS and CMS collaborations.

Run 3 of the LHC started in 2022, and already allowed the CMS experiment to collect 60/fb of proton-proton collision data at a center-of-mass energy of  $\sqrt{s} = 13.6$  TeV. Data-taking will continue until 2025, and should allow to bring the recorded luminosity to more than 150/fb, effectively doubling the available statistics from the previous Run at  $\sqrt{s} = 13$  TeV. This new dataset constitutes an excellent opportunity to improve analyses aiming at constraining the Higgs self-coupling. The best constraints on this parameter are obtained through the study of Higgs boson pair production (HH), where the self-coupling appears directly in Leading Order (LO) diagrams. However, HH production is an extremely rare process, with a total cross-section about 10 times smaller than that of single-Higgs-boson production.

Among the many possible decay modes of the HH pair, the  $HH \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$  channel is particularly interesting in Run 3. Thanks to its favourable branching ratio of 7.3 %, and to its moderate background contamination, it is among the three most sensible channels to the Higgs self coupling. It is also the channel that benefits from the most technical improvements in analyses techniques, especially through the recent introduction of new identification algorithms for  $b$ -quark initiated jets and tau leptons, and several directions are already well identified to improve further the sensitivity of upcoming analyses.

The student will take part in the development of an analysis using data collected by CMS during Run 3 of the LHC, aiming at constraining the Higgs boson self coupling through the study of HH production, with one H decaying into a pair of  $b$ -quarks, and the other one into a pair of tau leptons. They will study the impact on the analysis sensitivity of new trigger algorithms implemented online in 2022 and 2023, as well as the optimisation of the analysis selection and event categorisation accordingly.

### Keywords

CMS, Higgs boson, LHC

---

## **Skills**

Trigger algorithm characterisation, evaluation of efficiencies, purities, acceptances Estimation of signal sensitivity, statistical analysis

## **Softwares**

Python, C/C++, ROOT