

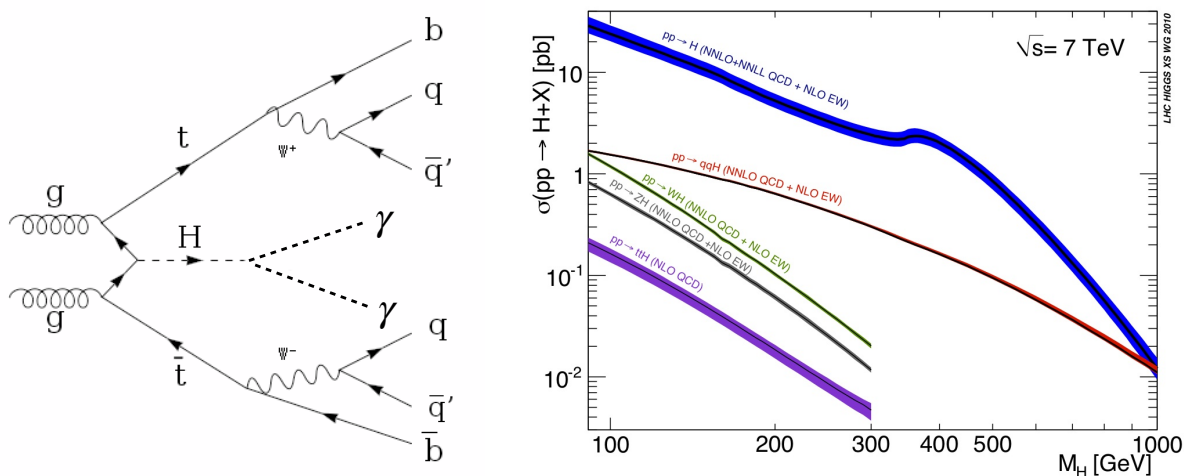
Sujet de thèse :

## Recherche du boson de Higgs se désintégrant en deux photons en production associée avec une paire de quarks top dans l'expérience CMS.

Contacts : Gautier Hamel de Monchenault (Gautier.Hamel.de.Monchenault@cern.ch), Julie Malclès (julie.malcles@cea.fr)

Groupe CMS du SPP, IRFU-Saclay

Le 4 juillet 2012, les expériences ATLAS et CMS du LHC au CERN ont observé un nouveau boson, avec un échantillon d'environ  $10 \text{ fb}^{-1}$  de données de collisions proton-proton à une énergie dans le centre de masse de 7 à 8 TeV [1, 2]. Cette particule est compatible avec le boson de Higgs, particule prédite par le Modèle Standard de la physique des particules (MS) [3–6]. Sa masse, de l'ordre de 125 GeV, est en bon accord avec les contraintes indirectes sur le boson de Higgs du MS, issues des mesures de précision électrofaibles [7]. Elle a été observée via les deux canaux de désintégration en deux photons et en quatre leptons, canaux les plus sensibles à cette masse. Son observation en deux photons démontre que cette particule a un spin entier et pair. La mesure des propriétés de cette particule est aujourd'hui un des enjeux majeurs en physique des particules : son spin, sa parité et ses couplages aux autres particules doivent être mesurés avec une grande précision pour vérifier s'il s'agit ou non du boson de Higgs du MS.



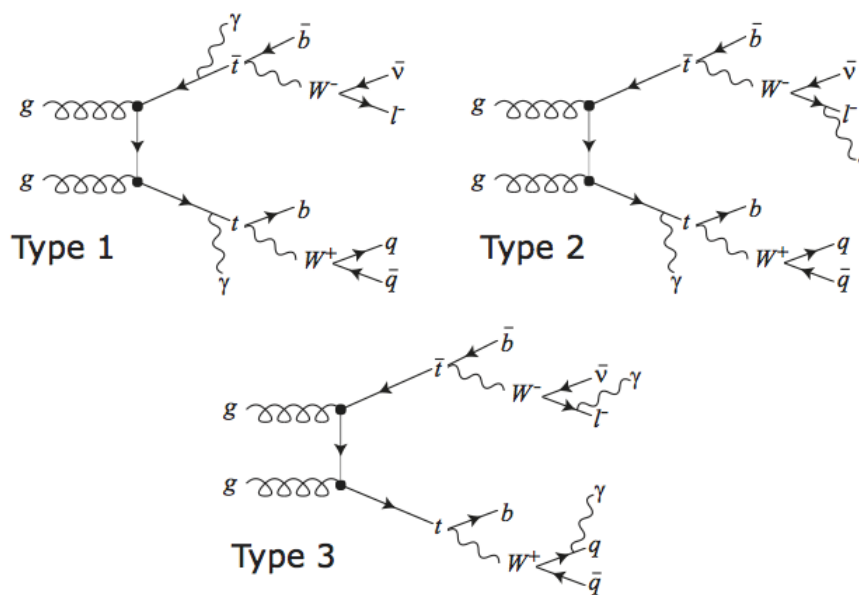
**FIGURE 1:** A gauche : production du boson de Higgs associée avec une paire de quarks top. A droite : sections efficaces de production du boson de Higgs à une énergie de 7 TeV au LHC dans différents canaux et en fonction de la masse. A 125 GeV, la production  $t\bar{t}H$  est moindre par rapport à la production par fusion de gluons de 2 ordres de grandeur.

Une mesure du canal  $t\bar{t}H$  permettrait d'accéder directement au couplage de Yukawa du boson de Higgs au quark top (cf Figure 1, à gauche). Des études préliminaires [8] montrent qu'un excès à  $3 \sigma$  devrait être observable au LHC dans le canal  $t\bar{t}H$  avec  $H \rightarrow \gamma\gamma$  avec une centaine de  $\text{fb}^{-1}$ .

Bien que le canal en deux photons ne soit pas celui qui présente le plus fort taux de branchement, il est prometteur car une reconstruction précise de la masse  $y$  est possible. De plus, sa signature est très propre dans le détecteur : la présence de deux photons énergétiques et isolés, soit la présence de deux dépôts d'énergie isolés dans le calorimètre électromagnétique et sans trace de particule chargée associée dans le trajectographe.

Les sections efficaces de production en association avec une paire de quark top sont 2 ordres de grandeur plus petites que la production principale par fusion de gluon (cf Figure 1, à droite), ce canal souffre donc d'une très faible statistique. Cependant, l'état final considéré est plus contraint que dans le canal inclusif puisqu'il comporte, en plus des deux photons issus de la désintégration du boson de Higgs, deux quarks  $b$  et deux bosons  $W$ <sup>1</sup>. Les bruits de fond sont donc plus faciles à rejeter. Deux canaux peuvent être envisagés : le canal "hadronique", dans lequel les deux bosons  $W$  se désintègrent hadroniquement (en jets), et le canal "semi-leptonique", avec un  $W$  se désintégrant hadroniquement et l'autre leptoniquement  $W \rightarrow \ell\nu$  avec  $\ell = e, \mu$ . Les bruits de fonds principaux sont les productions  $\gamma\gamma$ +jets,  $\gamma$ +jets, la production QCD multijets, et les productions de top,  $V\gamma\gamma$  et  $VV$  (avec  $V = Z$  ou  $W^\pm$ ). Les bruits de fond irréductibles sont les productions  $t\bar{t}\gamma\gamma$  (cf Figure 2).

Différentes variables pourront être utilisées pour réduire les bruits de fond. La présence de quarks top augmente la multiplicité de l'événement (le nombre de jets et le nombre de jets de  $b$ ), qui peut être utilisée pour réduire le bruit de fond QCD. De plus, le  $p_T$  des photons tend à être plus grand pour le signal boosté. Dans le canal semi-leptonique, la présence d'un lepton isolé de haut  $p_T$  permet aussi de discriminer le bruit de fond QCD et de reconstruire avec une précision accrue le vertex primaire de l'interaction. L'énergie transverse manquante due à la présence d'un neutrino dans le canal semi-leptonique peut aussi permettre d'éliminer certains bruits de fond.



**FIGURE 2:** Bruits de fond irréductibles  $t\bar{t}\gamma\gamma$ .

1. le quark top se désintègre à 100% en  $Wb$

La thèse proposée se divisera en plusieurs parties :

- En 2013 : une étude avec les données enregistrées à 7 TeV et 8 TeV jusqu'en février 2013, exploitant les canaux de désintégrations hadronique et semi-leptonique des bosons  $W$  afin de mettre une première limite sur la production  $t\bar{t}H$  avec  $H \rightarrow \gamma\gamma$ .
- En 2014 : durant le "shutdown", la préparation de l'analyse des données à 14 TeV, en adaptant et améliorant l'analyse précédente.
- En 2015 : une étude des données à 14 TeV et si la statistique le permet une première mesure de la production  $t\bar{t}H$  avec  $H \rightarrow \gamma\gamma$ .

Durant cette thèse, l'étudiant sera amené à travers ce sujet à maîtriser un grand nombre d'aspects, par exemple :

- la mesure de l'énergie des photons dans le calorimètre électromagnétique, la mesure de l'angle entre les photons et de la position du vertex primaire de l'interaction,
- l'identification des électrons, des muons et des photons,
- la mesure de l'échelle d'énergie des jets,
- la maîtrise de la mesure de l'énergie transverse manquante,
- l'identification des jets contenant des hadrons beaux, l'étiquetage des jets  $b$ .

Le groupe CMS de Saclay possède une grande expertise dans la mesure de l'énergie des photons, ayant pris part à la construction du calorimètre électromagnétique de CMS et ayant depuis un rôle leader dans sa calibration. Le groupe a aussi participé activement à l'analyse du canal  $H \rightarrow \gamma\gamma$  qui a permis la découverte du boson de Higgs. L'étudiant sera ainsi encadré par une équipe possédant l'expertise et les outils nécessaires pour entreprendre cette étude. Ainsi, l'analyse pourra être rapidement démarrée en ajoutant des jets et ou des leptons à l'analyse existante.

## Références

- [1] G. Aad *et al.* [ATLAS Collaboration], Phys. Lett. B **716** (2012) 1.
- [2] S. Chatrchyan *et al.* [CMS Collaboration], Phys. Lett. B **716** (2012) 30.
- [3] S. L. Glashow, Nucl. Phys. **22** (1961) 579 ; S. Weinberg, Phys. Rev. Lett. **19** (1967) 1264 ; A. Salam, Proceedings of 8th Nobel Symposium - Lerum - Sweden (19-25 May 1968) 367.
- [4] S. L. Glashow, J. Iliopoulos and L. Maiani, Phys. Rev. **D2** (1970) 1285.
- [5] P. W. Higgs, Phys. Rev. Lett. **13** (1964) 508 et Phys. Rev. **145** (1966) 1156 ; F. Englert, R. Brout, Phys. Rev. Lett. **13** (1964) 321 ; G. S. Guralnik, C. R. Hagen, T. W. B. Kibble, Phys. Rev. Lett. **13** (1964) 585 ; T. W. B. Kibble, Phys. Rev. **155** (1967) 1554.
- [6] G. 't Hooft, Nucl. Phys. **B33** (1971) 173 et Nucl. Phys. **B35** (1971) 167 ; G. 't Hooft, M. J. G. Veltman, Nucl. Phys. **B44** (1972) 189.
- [7] [ALEPH, DELPHI, L3, and OPAL Collaborations, LEP electroweak and SLD electroweak and heavy flavor working groups], Phys. Rept. **427** (2006) 257.
- [8] G. L. Bayatian *et al.* [CMS Collaboration], J. Phys. G **34** (2007) 995.