

Un rappel sur la motivation du mécanisme de Higgs pour la théorie électrofaible et sur le mode de production $gg \rightarrow H$

Julien Baglio
baglio@lal.in2p3.fr

27 juillet 2006

Résumé

Ce court article a pour but d'une part de rappeler pourquoi le mécanisme de Higgs fut proposé dans le cadre du Modèle Standard de la physique des particules (un bref rappel de ce dernier est à cet effet présenté), avec une courte démonstration montrant sur un exemple, tiré de l'électromagnétisme, la nécessité de l'absence de masse dans le cadre strict du Modèle Standard. D'autre part, la seconde partie de cet article rappelle un des modes d'étude du boson de Higgs dans la région des faibles masses, aux alentours des 114 GeV.

1 La motivation du mécanisme de Higgs

Le Modèle Standard des particules est actuellement la théorie qui décrit les constituants élémentaires, et les interactions entre ces constituants. La construction théorique du modèle est achevée à peu près vers 1973.

Mathématiquement parlant, le Modèle Standard repose sur la notion de symétrie, notamment de symétrie de jauge, et sur la théorie de représentation de groupes de Lie. Les interactions sont décrites par le groupe $SU(3) \otimes (SU(2)_L \otimes U(1)_Y)$. $SU(3)$ représente le groupe de l'interaction forte qui lie les quarks constitutifs des neutrons et protons, $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ représente le groupe de l'interaction électrofaible, unification de l'interaction faible responsable des désintégrations radioactives et de l'interaction électromagnétique.

Or il se trouve que pour des raisons de cohérence interne, il faut que les particules du Modèle Standard soient sans masse. On peut par exemple s'en rendre rapidement compte avec le photon : en introduisant le quadripotiel $A_\nu(x) = (\frac{V}{c}, \mathbf{A})$, les équations de Maxwell en l'absence de charge et de courant s'écrivent $\sum_\mu \partial_\mu \partial^\mu A_\nu = 0$ dans la jauge de Lorentz (l'invariance de jauge assure que la physique ne change pas en changeant de jauge, on peut donc en fixer une pour les calculs).

En prenant une transformée de Fourier, on a dans l'espace des impulsions $\sum_\mu k_\mu k^\mu A_\nu = 0$, $k_\mu = (\frac{\omega}{c}, \mathbf{k})$. En utilisant $\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}$ et la quantification canonique $\mathbf{p} \leftrightarrow -i\hbar \nabla$, on obtient fa-

cilement $\Delta A_\nu - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_\nu}{\partial t^2} = 0$ (après transformée de Fourier temporelle inverse). En prenant A_ν comme fonction d'onde (ce que fait la mécanique quantique relativiste) on a précisément l'équation de Klein-Gordon pour une particule de masse nulle. Le photon étant médiateur de l'interaction électromagnétique, il a donc une masse nulle pour respecter l'invariance de jauge.

Pourtant, les bosons de jauge de l'interaction faible (les bosons W^\pm et Z^0) sont des bosons massifs (respectivement 80 et 91 GeV en unités naturelles). Le mécanisme de Higgs permet de résoudre ce problème de brisure de symétrie électrofaible : ces bosons se couplent à un nouveau champ scalaire dit de Higgs et acquièrent ainsi une masse ; le photon est à masse nulle. Ce nouveau champ requiert une nouvelle particule : le boson de Higgs, qu'il reste à découvrir et qui est l'objectif principal de l'expérience ATLAS. La section suivante détaille un des nombreux modes d'étude de cette hypothétique particule.

2 Le boson de Higgs dans le secteur de la centaine de GeV

Le boson de Higgs est préjugée très massif, puisque l'on n'a pu l'observer jusque ici. Les expériences au LEP le placent à plus de 114 GeV, et dans le cadre du Modèle Standard sa masse est inférieure à 1 TeV. Elle connaît plusieurs modes de désintégration (VBF, $\gamma\gamma$, ZZ , etc...) dont l'un d'eux, pour ce qui est de la région de la centaine de GeV (voir figure 1), est particulièrement étudié au sein de la collaboration ATLAS : la désintégration $H \rightarrow \gamma\gamma$ après production par fusion gluon-gluon $gg \rightarrow H$.

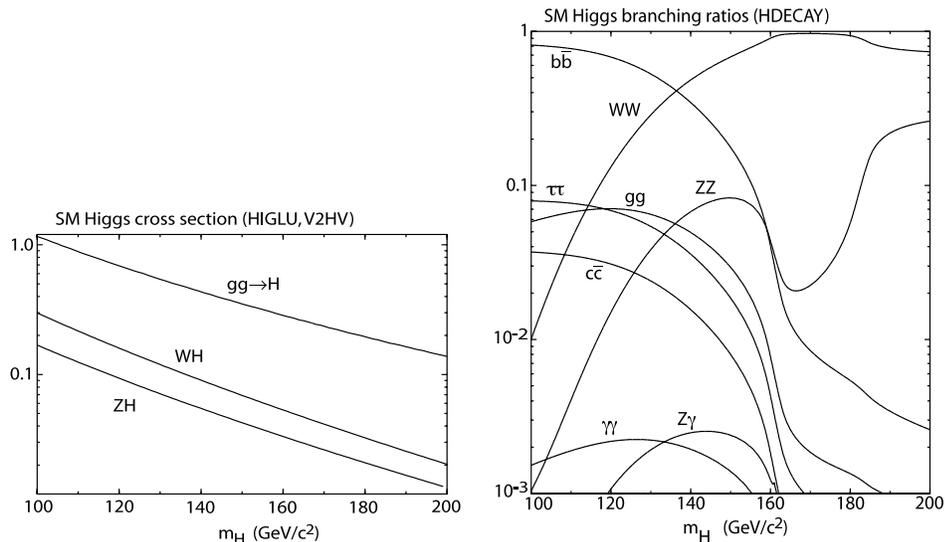


FIG. 1 – Section efficace de production du Higgs (à gauche), Taux de branchement en désintégration (à droite)

On représente ci-dessous le diagramme de Feynman au premier ordre de production du boson

de Higgs par fusion gluon-gluon :

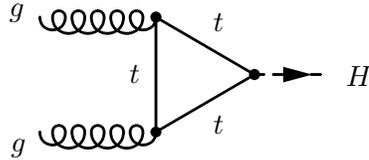


FIG. 2 – Diagramme de Feynman au 1^{er} ordre de $gg \rightarrow H$

On a ici représenté le couplage avec le quark top. C'est une condition nécessaire car en effet le gluon se couple aux charges de couleur, il faut donc un intermédiaire de type quark car le H est neutre de couleur. Le fait qu'en plus le top est massif fait qu'il se couple d'autant mieux au boson de Higgs (car sa masse est de l'ordre de celle du secteur électrofaible).

C'est dans l'optique de détecter de tels événements que le calorimètre électromagnétique à argon liquide sera utilisé dans ATLAS.