Examiner le Higgs au LHC

Geneviève Bélanger LAPTH, Annecy-le-Vieux

GB, B. Dumont, U. Ellwanger, J.Gunion, S. Kraml (1212.5244)
GB, U. Ellwanger, J.Gunion, Y.Jiang, S. Kraml, J. Schwarz (1210.1976)
B. Dumont, Proceedings Moriond2013
GB, B.Dumont, U. Ellwanger, J. Gunion, S. Kraml, in preparation

LPNHE, 3 Juin 2013

Introduction

- 4 juillet 2012: ATLAS et CMS annonce un signal compatible avec un boson de Higgs de masse (dec.2012) (13fb⁻¹ à 8 TeV)
- $m_h = 125.8 + -0.4 + -0.4 \text{GeV} (CMS)$
- =125.2+/-0.3+/-0.6GeV (ATLAS)
- Cette découverte soulève plusieurs questions
 - Est-ce un Higgs? LE Higgs du modèle standard?
 - Déviations des couplages du MS?
 - Piste vers physique au-delà du modèle standard?
 - Est-ce le Higgs du MSSM?
 - Autres Higgs légers?
- Aucun indice de nouvelle physique au LHC mais problème de la matière noire --> BSM

Plan

- Le Higgs du modèle standard
- Résultats LHC
- 'Fit' couplages du Higgs au LHC
 - Le LHC peut mesurer le signal du Higgs dans plusieurs canux de production et/ou de désintégration
 - Que peut-on apprendre de ces mesures
- Implications pour extensions du MS
- Conclusion

Autres études

Carmi et al, 1202.3144 Azatov et al 1202.3415 Espinosa et al, 1202.3697 Klute et al, 1205.2699 Azatov et al, 1206.1058 Carmi et al, 1206.4201 Low et al, 1207.1093 Corbett et al, 1207.1344 Giardino et al, 1207.1347 Ellis, You 1207.1693 Montull, Riva, 1207.1716 Espinosa et al, 1207.1717 Carmi et al, 1207.1718 Banerjee et al, 1207.3588

Bonnet et al, 1207.4599 Plehn, Rauch, 1207.6108 Espinosa et al, 1207.7355 Elander, Piai, 1208.0546 Djouadi, 1208.3436 Altmannshofer et al, 1210.2465 Dobrescu et al, 1210.3342 Chang et al, 1210.3439 Moreau, 1210.3977 Cacciapaglia et al, 1210.8120 Bechtle et al, 1211.1955 Corbett et al, 1211.4580

Et encore plus en 2013

Higgs du Modèle Standard

• Doublet scalaire

$$\Phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \longrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v + H(x) \end{pmatrix}$$

- Brisure symétrie
- Masse bosons jauge et fermions

$$\mathcal{L}_S = (D^{\mu}\Phi)^{\dagger}(D_{\mu}\Phi) - \mu^2 \Phi^{\dagger}\Phi - \lambda (\Phi^{\dagger}\Phi)^2$$

$$M_W = \frac{1}{2}vg_2 \qquad \qquad m_u = \frac{\lambda_u \, v}{\sqrt{2}}$$

• Couplages proportionnels à la masse



Couplages à une boucle



- hgg : contribution dominante top quark
- hyy: contribution dominante: W, boucle de top signe opposé

$$\Gamma(H \to \gamma \gamma) = \frac{G_{\mu} \alpha^2 M_H^3}{128 \sqrt{2} \pi^3} \left| \sum_f N_c Q_f^2 A_{1/2}^H(\tau_f) + A_1^H(\tau_W) \right|^2 \frac{4/3}{4/3} \frac{-8}{-8}$$

- Couplages quartiques et auto-couplages du Higgs
 - pas encore testé



7

- Unitarité
 - WW->WW





ATLAS - résultats

• Résultats pour signal relatif au MS dans chaque mode de production(μ)

 $\mu_{ggF} = \frac{\sigma(ggF) \cdot BR(H \to XX)}{\sigma_{SM}(ggF) \cdot BR_{SM}(H \to XX)}$

• Excès en deux photons



lundi 3 juin 2013



CMS - Higgs



Tevatron



Résultats avec 10fb⁻¹



Altonen et al, 1303.6346

12



Couplages génériques

• Couplages à l'arbre

$$\mathcal{L} = g \left[C_V \left(m_W W_\mu W^\mu + \frac{m_Z}{\cos \theta_W} Z_\mu Z^\mu \right) - C_U \frac{m_t}{2m_W} \bar{t}t - C_D \frac{m_b}{2m_W} \bar{b}b - C_D \frac{m_\tau}{2m_W} \bar{\tau}\tau \right] H$$

- Symétrie 'custodial' C_W=C_Z=C_V
- Universalité des générations et C_D=C_L
- Couplages induits boucles: hgg, hγγ
 - modifiés si couplages à l'arbre sont modifiés même si seulement particules standard dans la boucle
 - contributions de nouvelles particules

Procédure pour fit



$$\overline{\mu}_k = \sum T_k^i \widehat{\mu}_i$$

- Inclure corrections QCD dans C_g (HIGLU) et C_γ (HDECAY)
- Grille et calcul de χ^2 puis utilise MINUIT pour trouver le vrai minimum, meilleur fit+ 1σ

Résultats (1)

Fit I: $C_U = C_D = C_V = 1$, ΔC_g and ΔC_γ free





- Meilleur fit $\chi^2_{min}=17.6$ pour 20 d.o.f.
- $\Delta C_{\gamma}=0.14 \Delta C_{g}=-0.06$ (pre-Moriond $\Delta C_{\gamma}=0.43 \Delta C_{g}=-0.09$)
- SM : $\chi^2 = 19.0$
- Exemple de modèles: UED, Inert Doublet, MSSM dans la limite de découplage -> voir la suite 15

Fit II: C_U, C_D, C_W



• Suppose aucune nouvelle particule contribuant à hgg, hyy



Pre-Moriond



17

Production de top et Higgs



• Production d'un top associé à un Higgs augmente fortement quand C_U, C_V sont signe opposé

- Farina et al, arXiv:1211.3736, Biswas et al arXiv:1211.0499

- Dans le cadre du MS : interférence destructive entre contributions des W et top
- Mesures de précision du 'single top' au LHC permettra de vérifier la possibilité de $C_U < 0$



- Meilleur fit $C_U=0$, $C_D=1.02$, $C_V=1.04$, $\Delta C_{\gamma}=-0.16$, $\Delta C_g=0.82$
- Cu peu contraint (directement seulement de tth)
- Corrélation C_U - ΔC_g
- Pas besoin de contribution importante pour γγ, seulement pour gg

Lever la dégénerescence



1

20

Higgs invisible

Higgs invisible

- Nouveaux modes de désintégration du Higgs
 - invisible H-> DM,DM $(m_{DM} < m_h/2)$
 - non-détecté H->AA ->bbbb
 - contraints par les mesures des couplages du Higgs





Figure 16: Cross sections and respective uncertainties, in dimanche 2 juin 2013 SM Higgs-boson production channels a**23**he LHC with a 0 the LHC Higgs Cross Section Working Group [25].

Matière noire légère

- Lorsque m_{DM}<m_h/2, désintégration invisible du Higgs reliée à diffusion élastique sur nucleon (détection directe)
- Par exemple, femioe MN: $det ection = \frac{g^2}{16\pi}m_H C_{\chi}^2 \beta^3$
- Si Higgs contribution dominante à détection directe
- Typical diagrams

$$\sigma_{\rm SI} = \eta \mu_r^2 m_p^2 \frac{g^2}{M_p^2} \Gamma_{\rm inv} \left[C_U(f_u^N + f_c^N + f_t^N) + C_D(f_d^N + f_s^N + f_b^N) + \frac{\Delta C_g}{\widehat{C}_g} f_g^N \right]^2$$

liggs exchange often dominates



Н

Higgs vs détection directe



 En supposant couplages Higgs MS + invisible : la limite Br_{inv}~20% des fits globaux plus contraignant que recherche directe pour MN fermionique et comparable pour MN scalaire

Résumé - couplages du Higgs

- Les mesures actuelles sont compatibles avec un Higgs standard, mais
 - $C_{U} < 0$ pas encore exclus
 - $C_U \sim 0$, $C_g > 1$ possible (mesure tth nécessaire)
 - meilleur fit, $C_{\gamma} > 1$ (e.g. contribution de nouvelles particules chargées sans couleur)
- Impact sur la physique au-delà du modèle standard (BSM)
 - multi-Higgs
 - Nouvelles particules boucles
 - SUSY

Unitarité



- Corrections de quelques % à C_W -> violation d'unitarité pour WW-> WW à quelques TeV
- Pas problème d'unitarité si élargit secteur Higgs : par exemple 2 doublets ou doublet+ singlet. 27

Exemple: Deux doublets Hinns

- Deux paramètres libres $-\alpha$ (mélange Higgs)
 - $-\tan\beta (v_u/v_d)$
- Meilleur fit tan $\beta \sim 0.24$

Possibilité H~125 GeV (hZZ couplage réduit 25%MS - OK avec LEP)



UED

- Modèle une dimension supplémentaire compactifié S1/Z2
- paramètres R⁻¹, m_h, Lambda
- A chaque particule MS -> particules de KK
- niveau n : toutes les particules ont masse~n/R (à l'arbre)
- Contributions particules KK dans la boucle : même signe que standard
 - ggh : augmente
 - $-h\gamma\gamma$: diminue
 - -hWW = MS





- R($\frac{\text{Fig. 3. Regions of MLED parameter space ruled out at the 95 %}{\text{Supplying provided by Lombination of ATLAS and CMS Higgs searches using the diphoton (red) and <math>W^+W^-$ (blue) channels.
- R(WWγγ) < 1 The parameter space ruled out by the Higgs search data
 - R(is shown to Fig. 3 All of the parameter space for m_h > - R(is conversion of the parameter space for m_h > 125 GeV - this is due to the excess of events observed - prévolits article region around is an intervention of the second of the excess of events observed - prévolits article region of the excess of events observed - brevention of the excess of the
- For completeness, in Fig. 4 we show the limits on the HIED parameteppade from the Higgs analysis presented here together with existing limits from other constraints. In addition to those constraints described in Section 1, elechowest Crecision fits from LEP prefer a Higgs with a mass mercredi 1 fevrier 2012 in the window delineated on the graph by the two blue here perboloids.

What is left is a very narrow region of parameter sp with m_h around 125 GeV and 700 GeV $< R^{-1} < 1600$ G become moot (for our purposes!) if the 125 GeV excess goes away when extra data is collected in 2012. If this happens, we will be able to rule out MUED completely at the 3σ limit by the end of the year. If the excess remains and we discover the Higgs there, this should allow us to make a prediction as to the value of R^{-1} .





MSSM

- Un Higgs de masse 125GeV nécessite réglage fin mais possible avec grand mélange des stops (e.g. Hall et al, 1112.2703)
- Deux doublets + nouvelles particules dans boucle
- Dans la limite du découplage (grand m_A) : couplages à l'arbre du Higgs aux particules MS, C_U,C_V,C_D~1
- Boucles : possibilité de corrections importantes des particules SUSY légères





- Contribution stop peut être importante
 - Djouadi, PLB345(98) 101

$$V_{\tilde{t}_{1}\tilde{t}_{1}h} \simeq \frac{g}{M_{W}} \left(\sin^{2}(2\theta_{\tilde{t}}) \frac{(m_{\tilde{t}_{1}}^{2} - m_{\tilde{t}_{2}}^{2})}{4} + m_{t}^{2} + M_{Z}^{2} \cos(2\beta) \left((\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \sin^{2}\theta_{W}) \cos^{2}\theta_{\tilde{t}} + \frac{2}{3} \sin^{2}\theta_{W} \sin^{2}\theta_{\tilde{t}} \right) \right)$$

- grand mélange : stop interférence destructive avec top
- Avec $m_h{=}125GeV$: suppression de ggh ~plus importante que augmentation de hyy $R_{gg\gamma\gamma}$ ${<}1$

$$R_{gg\gamma\gamma} = \frac{\sigma(gg \to h)_{MSSM} BR(h \to \gamma\gamma)_{MSSM}}{\sigma(gg \to h)_{SM} BR(h \to \gamma\gamma)_{SM}}$$

R_{ggγγ} >1 possible avec stau léger, (Carena et al 1205.5842) ou chargino léger

MSSM



 Avec particules SUSY et Higgs2 de quelques centaines de GeV : couplages du Higgs à peu près standard

Arbey et al, 1212.4004

Un autre higgs léger?

Résultats du LEP

- Petit excès pour e⁺e⁻-> Zbb (~2sigma) au LEP avec M_h~98GeV.
- Compatible avec la limite M_h >114 GeV si couplage au ZZ plus faible que dans le MS, seulement 0.1-0.25
- Pourrait-être un deuxième Higgs h'?
- Mélange entre h' et h modifie les propriétés de h, e.g. mélange avec h' peut modifier hbb, donc largeur totale et Br(h-XX)

 $- Br(h \rightarrow XX) \sim \Gamma(h \rightarrow XX)/\Gamma(h \rightarrow bb)$

- Dans le cadre du MSSM : Heinemeyer et al, 1112.3026; Hagiwara et al, 1207.0802; Drees, 1210.6507; Bechtle et al, 1211.1955
- Ici considère le NMSSM

NMSSM

• MSSM + un superchamp singlet

 $W_{\text{NMSSM}} = W_F + \lambda \hat{H}_u \cdot \hat{H}_d \hat{S} + \frac{1}{3} \kappa \hat{S}^3,$ $V_{\text{soft}}^{\text{NMSSM}} = \tilde{m}_u^2 |H_u|^2 + \tilde{m}_d^2 |H_d|^2 + \tilde{m}_S^2 |S|^2 + (A_\lambda \lambda S H_u \cdot H_d + \frac{A_\kappa}{3} \kappa S^3 + h.c.).$

- paramètre μ relié à vev du singlet $\mu = \lambda s$ – naturellement à l'échelle electrofaible
- secteur Higgs : 3 CP-pair, 2 CP-impair+ Higgs chargé
 - phénoménologie plus riche que MSSM
 - un singlet scalaire + un singlet pseudoscalaire
- Aussi 5^{eme} neutralino -> singlino
 - influence propriétés de la matière noire

NMSSM: la masse du Higgs

- Masse du Higgs léger : nouvelle contribution à l'arbre
- Repousse limite supérieure $m_h^2 < M_Z^2 \cos^2 2\beta + \lambda^2 v^2 \sin^2 2\beta$
- surtout pour petit $tan\beta$
- Plus facile d'obtenir 125GeV même sans corrections des stop, il faut $\lambda \sim 1$ (Ellwanger et al JHEP1109.105; Hall et al 1112.2703)
- Reglage fin réduit (Ellwanger et al 1107.2472)
- Mélange doublet singlet le Higgs le plus léger peut satisfaire les limites du LEP
- Mélange doublet singlet peut réduire hbb et augmenter Br(h->2 photons) - grand λ , petit tan β

– Ellwanger, 1012.1201,1112.3548

- Peut-on $bten ir_{0.1}^{3}$ $M_{h1} \sim 160 + M_{h2} \sim 125$?
- NMSSM avec semi-unification des primes de bristure douce à l'échelle de grande unification
 - $m_{1/2}, m_0, A_0, m^2_{Hu}, m^2_{Hd}, m_{\mathcal{S}_{gg}}^{\mathcal{H}_{d}}, A_{\mathcal{K}}, A_{\mathcal{K}}, tan \beta^{1.6}$
- Inclus contraintes Higgs de NMSSMTools + physique du B, MN (limite supérieure WMAP et Xenon100), g-2
 - Gunion, Jiang, Kraml, arXiv:1207.1545
- NB: g-2 trop petit pour expliquer l'écart observé avec la prédiction du MS
- Calcul de tous les R^h
 - pour LEP : $R_{VBF}(bb)$

0.2

 $R^{h}_{gg}(WW), \quad R^{h}_{gg}(bb), \quad R^{h}_{gg}(\gamma\gamma), \quad R^{h}_{VBF}(WW), \quad R^{h}_{VBF}(bb), \quad R^{h}_{VBF}(\gamma\gamma)$

Signaux du Higgs

Deux Higgs à 98GeV+125GeV



GB et al, JHEP 2012

 Pour une découverte de Higgs léger dans le canal bb doit augmenter la sensibilité du LHC par un facteur 4-10



- h₁ -> 2-photons faible
- VBF->h₂->bb <1

Autres tests du modèle?

- LHC:
 - h₁ (bb) avec plus de luminosité
 - $-a_1$: léger mais singlet faible taux⁶⁵
 - $-a_2$: doublet, plus prometteur
 - $gg \rightarrow a_2 \rightarrow tt$ (~0.01pb pour masse 500 GeV)
 - ou $a_2 \rightarrow a_1 h_1 \rightarrow 4b$
 - $gg \rightarrow a_{2, h_3} \rightarrow \tau \tau$
 - besoin de plus de luminosité
 - H^+ : Br (H⁺-> h₁W) ~20%





Higgs dans désintégrations de neutralino



Matière noire

• 5 neutralinos





- LSP soit higgsino ou singlino
 - higgsino annihilation en paires de
 W Ωh² ~0.1 car juste sous seuil
 - Composante singlino: annihilation via échange d'un Higgs singlet



Détection directe

 10^{-7}

 10^{-8}

10⁻⁹

10⁻¹⁰

10⁻¹¹

10⁻¹²

10⁻¹³

10⁻¹⁴

10⁻¹⁵

60

80

100

120

140

160

180

200

220

σ_{SI} [pb]

XENON100(201

- Recherche de MN par diffusion inélastique sur noyaux dans grand détecteur meilleures limites de Xenon100 (2012)
- Détection directe de MN: juste sous limite Xenon ou très supprimé



... aux collisionneurs futurs

- ILC
 - Production Zh1 importante
 - Dans quelques cas peut détecter 5 Higgs neutres



- Possibilité d'un Higgs à 98 GeV dans les données du LEP dans le cadre du NMSSM - signatures caractéristiques
- Le LHC peut chercher le Higgs léger dans des canaux standard, et aussi nouveaux canaux pour recherche de h₁,a₁
- NB: singlet léger du NMSSM peut avoir n'importe quelle masse

CONCLUSION

- Données LHC compatibles avec Higgs standard (surtout depuis résultats CMS γγ) aussi avec extensions du MS
- Secteur de Higgs au LHC nous réserve peut être des surprises
 même si pas encore d'indice sur nouvelle physique
- Ne pas oublier possibilité d'un Higgs m<125 GeV en particulier un Higgs singlet à 100GeV