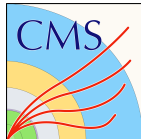


Propriétés et recherche du boson W' dans un
modèle de groupe de jauge
 $SU(2) \times SU(2) \times U(1)$

Alexis MOLTER

Université de Strasbourg

14 juin 2016

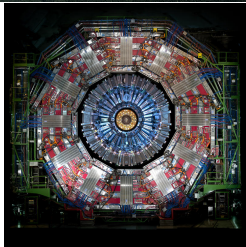


Contexte

Stage de phénoménologie au sein de l'équipe CMS sous la tutelle d'Eric CONTE et Benjamin FUKS

- la physique des particules utilise le modèle standard basé sur la théorie de jauge
- il a de nombreux problèmes, exemple : il ne prédit pas la masse des neutrinos
- il existe des modèles qui veulent résoudre ces problèmes, par exemple en étendant le groupe de jauge
- j'ai du réinterpréter une analyse réalisée dans CMS dans le cadre d'un modèle gauche-droit

Introduction



LHC

- collision proton-proton
- $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
- fréquence de collisions : 40 MHz
- Luminosité intégrée prévue (2018) : 100 fb^{-1}
- 4 grandes expériences

CMS

- Détecteur généraliste
- 12 500 tonnes
- 15 mètres de diamètre, 21,5 mètres de long

Sommaire

Modèle standard minimal gauche-droit

Phénoménologie du boson W'

Recherche du boson W' au LHC

Conclusion

Sommaire

Modèle standard minimal gauche-droit

Phénoménologie du boson W'

Recherche du boson W' au LHC

Conclusion

Modèle standard électrofaible

Un modèle : $SU(2)_L \times U(1)_Y$

	$SU(2)_L$
Doublet	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$
Singlet	u_R, d_R, e_R

T_L^3 l'isospin faible sous $SU(2)_L$ et Y l'hypercharge associée à $U(1)_Y$

Formule de Gell-Mann et Nishijima : $Q = T_L^3 + \frac{Y}{2}$

Avec Q la charge électrique de la particule

Construction de la dérivée covariante à partir de la théorie de jauge :

$$D_\mu = \partial_\mu - ig_L W_{L\mu}^a \tau^a - ig_Y Y B_\mu$$

Modèle standard minimal gauche-droit

Un modèle : $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$

$SU(2)_L$	$SU(2)_R$
$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} u_R \\ d_R \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_R \\ e_R \end{pmatrix}$

T_R^3 l'isospin faible sous $SU(2)_R$ et $B-L$ la charge faible associée à $U(1)_{B-L}$

Formule de Gell-Mann et Nishijima généralisée : $Q = T_R^3 + T_L^3 + \frac{B-L}{2}$

Construction de la dérivée covariante à partir de la théorie de jauge :

$$D_\mu = \partial_\mu - ig_L W_{L\mu}^a \tau^a - ig_R W_{R\mu}^a \tau^a - ig_{B-L} (B-L) X_\mu$$

Apparition des bosons du modèle standard

$$\mathcal{L}_{Higgs} = (D^\mu \Phi)^\dagger (D_\mu \Phi) - V(\Phi)$$

$$SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{em}$$

Doublet de higgs : $\Phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix}$ avec $\langle \Phi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$

Boson vecteur	Masse
$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} [W_{L\mu}^1 \mp iW_{L\mu}^2]$	$m_W = \frac{e v}{2 \sin \theta_w}$
$Z_\mu = \cos \theta_w W_{L\mu}^3 - \sin \theta_w B_\mu$	$m_Z = \frac{e v}{2 \sin \theta_w \cos \theta_w}$
$A_\mu = \sin \theta_w W_{L\mu}^3 + \cos \theta_w B_\mu$	$m_A = 0$

$$g_L = \frac{e}{\sin \theta_w}$$

$$g_Y = \frac{e}{\cos \theta_w}$$

Apparition des bosons du modèle gauche-droit

$$\mathcal{L}_{Higgs} = (D^\mu \Phi)^\dagger (D_\mu \Phi)$$

1ère brisure :

$$SU(2)_R \times U(1)_{B-L} \rightarrow U(1)_Y$$

Doublet de Higgs : $\Phi = \begin{pmatrix} \varphi^+ \\ \varphi^0 \end{pmatrix}$ avec $\langle \Phi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ u \end{pmatrix}$.

Boson vecteur	Masse
$W'_{\mu}^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}} [W_{R\mu}^1 \mp iW_{R\mu}^2]$	$m_{W'} = \frac{e u}{2 \cos \theta_w \sin \phi}$
$Z'_{\mu} = \cos \phi W_{R\mu}^3 - \sin \phi X_{\mu}$	$m_{Z'} = \frac{e u}{2 \cos \theta_w \sin \phi \cos \phi}$
$B_{\mu} = \sin \phi W_{R\mu}^3 + \cos \phi X_{\mu}$	$m_B = 0$

$$g_R = \frac{e}{\sin \phi \cos \theta_w}$$

$$g_{B-L} = \frac{e}{\cos \phi \cos \theta_w}$$

Apparition des bosons du modèle gauche-droit

$$\mathcal{L}_{\text{Higgs}} = (D^\mu H)^\dagger (D_\mu H) - V(\Phi, H)$$

2ème brisure :

$$SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{em}$$

Bidoublet de Higgs : $H = \begin{pmatrix} h_1^0 & h_1^+ \\ h_2^- & h_2^0 \end{pmatrix}$ avec $\langle H \rangle = \frac{v}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 \\ 0 & \sin \beta \end{pmatrix}$.

Boson vecteur	Masse
$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} [W_{L\mu}^1 \mp iW_{L\mu}^2]$	$m_W = \frac{ev}{2 \sin \theta_w}$
$Z_\mu = \cos \theta_w W_{L\mu}^3 - \sin \theta_w B_\mu$	$m_Z = \frac{ev}{2 \sin \theta_w \cos \theta_w}$
$A_\mu = \sin \theta_w W_{L\mu}^3 + \cos \theta_w B_\mu$	$m_A = 0$

$$g_L = \frac{e}{\sin \theta_w}$$

$$g_Y = \frac{e}{\cos \theta_w}$$

Paramètres du modèle standard

On a 19 paramètres libres :

- 3 constantes de couplage
- 9 masses des quarks et leptons
- une matrice CKM (Cabibbo-Kobayashi-Maskawa) : 3 angles et 1 phase
- 1 masse du boson de Higgs
- 1 valeur du vide v
- 1 angle θ en QCD (violation forte de CP)

Paramètres du modèle gauche-droit

Les 19 paramètres libre du modèle standard et on ajoute :

- 1 angle de mélange ϕ
- 1 valeur du vide supplémentaire qui devient $x = \frac{u^2}{v^2}$
- 3 masses des neutrinos gauches
- 3 masses des neutrinos droits

Paramètres du modèle gauche-droit

Les 19 paramètres libre du modèle standard et on ajoute :

- 1 angle de mélange ϕ
- 1 valeur du vide supplémentaire qui devient $x = \frac{u^2}{v^2}$
- ~~3 masses des neutrinos gauches~~
- ~~3 masses des neutrinos droits~~

Un total de 21 paramètres libres

Sommaire

Modèle standard minimal gauche-droit

Phénoménologie du boson W'

Recherche du boson W' au LHC

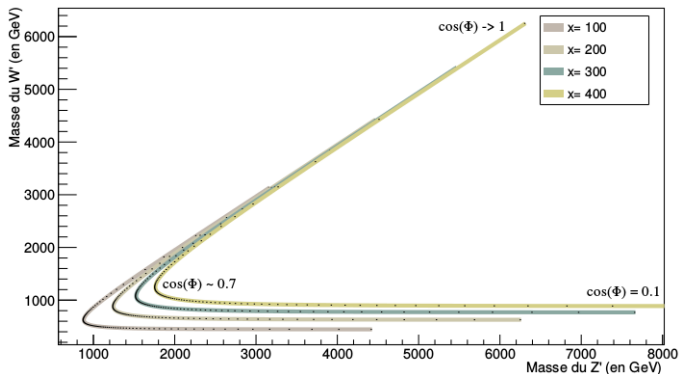
Conclusion

Evolution des masses du W' et Z'

$$M_{W'} = \frac{e v}{2 \cos \theta_w \sin \phi} \sqrt{(1+x)}$$

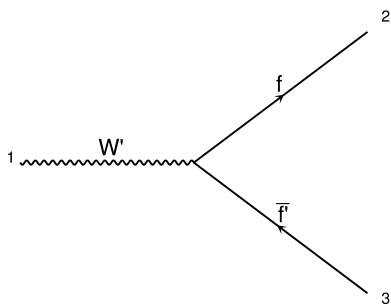
$$M_{Z'} = \frac{e v}{2 \cos \theta_w \sin \phi} \sqrt{\left(\cos^2 \phi + \frac{x}{\cos^2 \phi}\right)}$$

Avec $x = \frac{u^2}{v^2}$

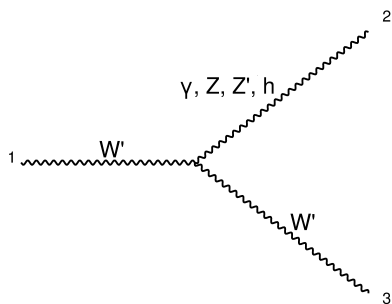


Couplages du boson W'

Interactions avec les fermions droits

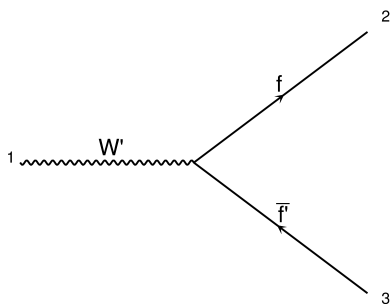


Interactions avec les bosons

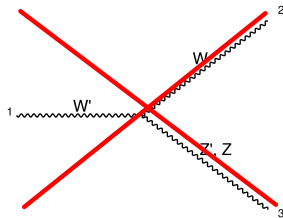
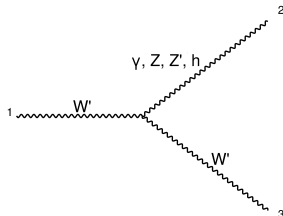


Couplages du boson W'

Interactions avec les fermions droits



Interactions avec les bosons



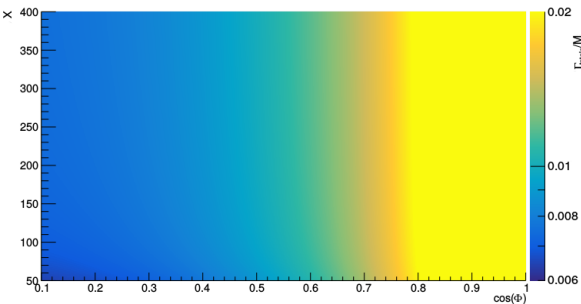
Largeur totale de désintégration

Formule analytique :

$$\Gamma_{\text{totale}} = \sum_{q\bar{q}'} \Gamma(W' \rightarrow q\bar{q}')$$

$$\text{avec } \Gamma(W' \rightarrow q\bar{q}') = \frac{\sqrt{\lambda(M_{W'}^2, M_q^2, M_{q'}^2)} (M_{W'}^2 - (M_q^2 + M_{q'}^2))}{16\pi M_{W'}^3} \times \frac{e^2}{c_\theta^2 s_\phi^2}$$

$$\lambda(M_{W'}^2, m_q^2, m_{q'}^2) = (M_{W'}^2 - m_q^2 - m_{q'}^2)^2 - 4m_q^2 m_{q'}^2$$

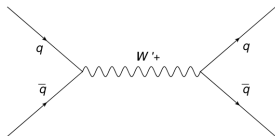


- on veut une résonance étroite
- on prend arbitrairement $< 2\%$
- on exclut $\cos \phi > 0.79$

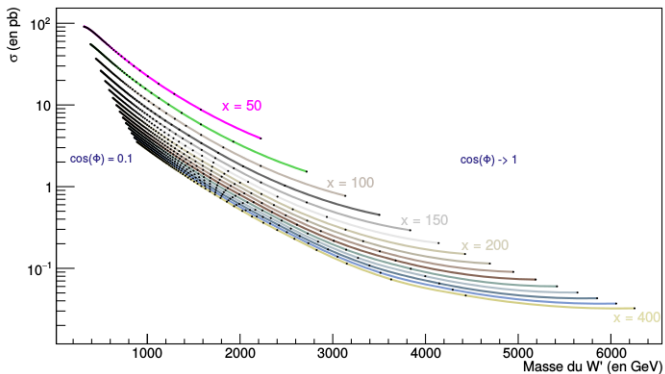
Evolution de la section efficace

Formule générale :

$$\sigma = \frac{1}{F} \sum_{ab} \int dx_a dx_b f_{a/p_1}(x_a; \mu_F) f_{b/p_2}(x_b; \mu_F) \hat{\sigma}(\mu_R, \hat{s} = x_a x_b s) dPS$$

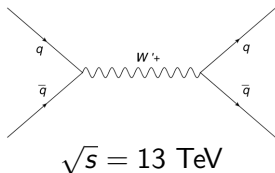


Simulation :



Scénarios

Scénarios	Paramètres		Masse des bosons (GeV)	
	x	$\cos \phi$	$M_{W'}$	$M_{Z'}$
I	783	0.786	2000	2541
II	2410	0.786	3500	4454
III	4925	0.786	5000	6366



Benchmarks	section efficace (fb)
	σ
I	522
II	13
III	0.2

Sommaire

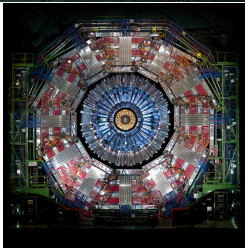
Modèle standard minimal gauche-droit

Phénoménologie du boson W'

Recherche du boson W' au LHC

Conclusion

Plateforme logiciel



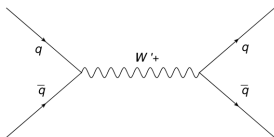
LHC

- Feynrules : extraction des règles de Feynman
- MadGraph 5 : processus "durs"
- Pythia 8 : processus "doux"

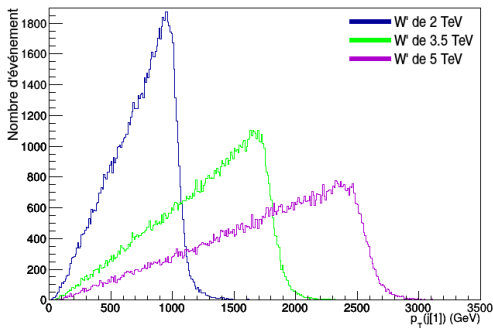
CMS

- Delphes 3 : simulation rapide
- MadAnalysis 5 : implémentation des analyses de CMS

Recherche du W' en jj



- Signature : 2 jets de haute impulsion transverse
- Bruit de fond : processus QCD



CMS-EXO-15-001

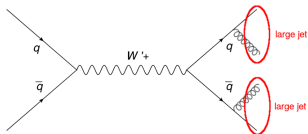
Sélection en ligne :

- $p_T > 500$ GeV ou $H_T > 800$ GeV

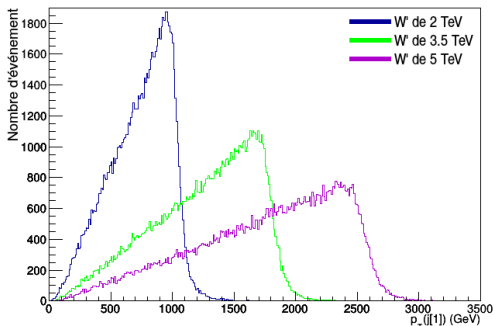
Sélection hors ligne :

- $p_T^{jet} > 30$ GeV et $|\eta| < 2.5$
- Construction de large jet : $\Delta R(jet\ principal, jet) < 1.1$
- Construction de la masse invariante : $|\Delta\eta("large\ jet", "large\ jet")| < 1.3$

Recherche du W' en jj



- Signature : 2 jets de haute impulsion transverse
- Bruit de fond : processus QCD



CMS-EXO-15-001

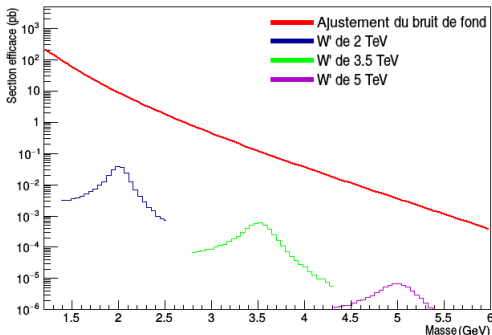
Sélection en ligne :

- $p_T > 500$ GeV ou $H_T > 800$ GeV

Sélection hors ligne :

- $p_T^{jet} > 30$ GeV et $|\eta| < 2.5$
- Construction de large jet : $\Delta R(jet\ principal, jet) < 1.1$
- Construction de la masse invariante : $|\Delta\eta("large\ jet", "large\ jet")| < 1.3$

Recherche du W' en jj



CMS-EXO-15-001

- Un modèle théorique différent
- Limite sur la masse du W' de 2.6 TeV

Pour mettre des limites sur notre modèle, il faut effectuer une réinterprétation des mesures de CMS

Sommaire

Modèle standard minimal gauche-droit

Phénoménologie du boson W'

Recherche du boson W' au LHC

Conclusion

Conclusion

J'ai étudié :

- le secteur de électrofaible du modèle gauche-droit basé sur une extension du groupe de jauge
- les propriétés du W' en fonction des paramètres du modèle
- la recherche du W' en jj au LHC

Perspectives :

- produire des événements de signaux plus réaliste
- W' en jj : exclusion des régions en ϕ et x
- W' en tb : implémenter les outils de reconstruction d'objet boosté et étudier leurs performances

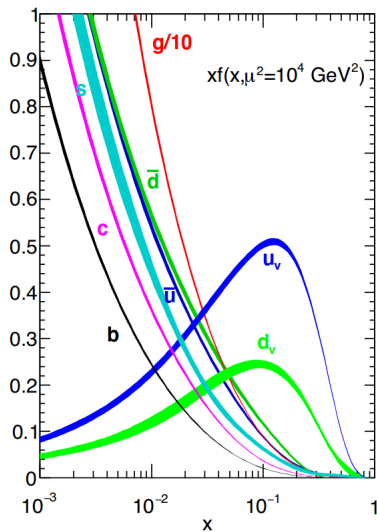
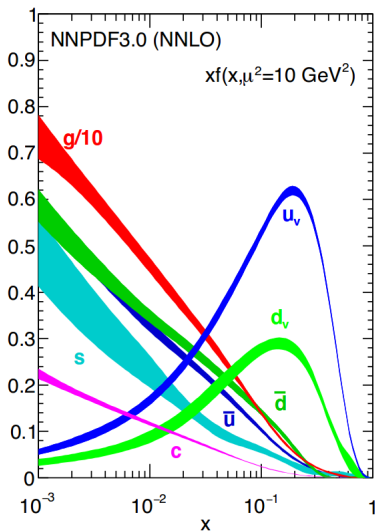
Merci de votre attention

Avez-vous des questions ?

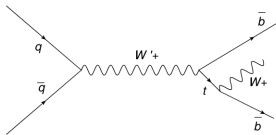
Autres modèles

Modèle	$SU(2)_1$	$SU(2)_2$	$U(1)_X$
Gauche-droite (LR)	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} u_R \\ d_R \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_R \\ e_R \end{pmatrix}$	$X = B - L$ pour les fermions
Lepto-phobique (LP)	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} u_R \\ d_R \end{pmatrix}$	$X = B - L$ pour les quarks $X = Y$ pour les leptons
Hadro-phobique (HP)	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_R \\ e_R \end{pmatrix}$	$X = Y$ pour les quarks $X = B - L$ pour les leptons
Fermio-phobique (FP)	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$		$X = Y$ pour les fermions
Non-unifié (UU)	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$	$X = Y$ pour les fermions
Non-universel (NU)	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}_{1^{st}, 2^{nd}}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}_{1^{st}, 2^{nd}}$	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}_{3^{rd}}, \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}_{3^{rd}}$	$X = Y$ pour les fermions

PDF

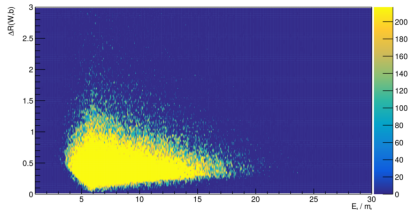


Recherche du W' en $t\bar{b}$

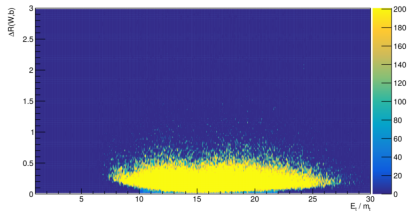


- $t \rightarrow W \bar{b}$
- $\text{boost} \equiv \frac{E_t}{m_t}$
- Relation entre le boost et la distance relative entre W et \bar{b}

Boson W' de 2 TeV :



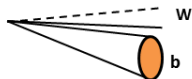
Boson W' de 5 TeV :



Recherche du W' en tb

Désintégration leptonique du W (CMS-B2G-15-004)

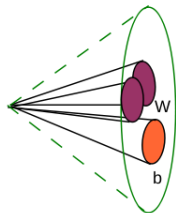
Top de haut p_T



	Masse du boson W' (GeV)		
	2000	3500	5000
Monte-Carlo	50 000	50 000	50 000
Muons isolés	$12\,000 \pm 110$	$6\,000 \pm 77$	$4\,000 \pm 63$

Désintégration hadronique du W

Top de haut p_T



Utilisation d'algorithme spécifique