

# Présentation

**Bessaa Assia**

Département de physique  
Université Claude Bernard Lyon1

25 Septembre 2014

# Etudes

## Formation

- Master académique en **physique théorique**, Algérie (2012)
- Master recherche en **physique subatomique**, université Lyon1 (2014).

## Cours acquis

Mécanique quantique, théorie quantique des champs, physique statistique, physique des particules, au-delà du SM, QCD et théories de jauge, détecteurs, mathématiques pour la physique, relativité générale, informatique (C, Fortran, Maxima, Bash, LaTeX, ....)

# Stage@IPNL

## Leptoquarks aux collisionneurs hadroniques

### Publications

Assia Bessaa and Sacha Davidson, “Estimated constraints on t-channel leptoquark exchange from LHC contact interaction searches”, [arXiv :1409.2372](https://arxiv.org/abs/1409.2372)[hep-ph] (2014)

# Pourquoi une nouvelle physique ?

- Le Modèle Standard est en bon accord avec l'expérience, il a permis de prédire l'existence de bosons de jauge Z et W avec une masse de  $\sim 10^2 \text{ GeV}$
- Le boson de Higgs génère les masses des particules.

## Questions ouvertes ...

- La **gravitation** n'est pas incluse dans SM !
- La masse des **neutrinos** n'est pas décrite
- Mystérieuse symétrie entre quarks et leptons !

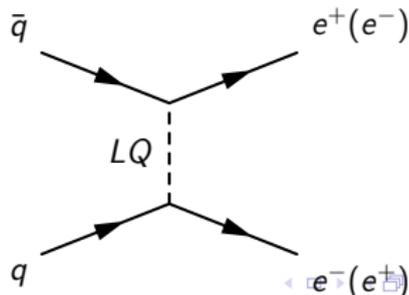
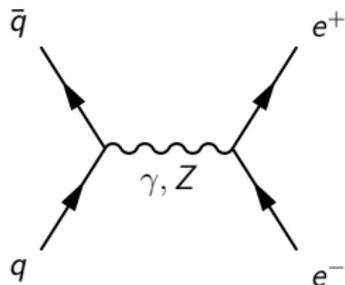
## Peut être...

→ L'existence d'une relation plus fondamentale entre leptons et quarks ?  $\implies$  **Leptoquarks (LQ)**

## But de stage

- Aucune production directe des LQ n'a été confirmée à ce jour par les collaborations expérimentales (LEP, HERA, TEVATRON, LHC )
- Le but de stage est de calculer le couplage des LQ de 1<sup>er</sup> génération, en utilisant les limites établies par ATLAS et DIS sur les interactions de contact (CI) de type  $eeqq$  et  $e\nu qq$ .

- **Modèle (Buchmuller, Ruckl and Wyler) :**  $\rightarrow$  7 LQ scalaires ( $S=0$ ) et 7 LQ vectoriels ( $S=1$ ), symétries du SM conservées, paramètres libres : **masse  $m_{LQ}$  et couplage de Yukawa  $\lambda_{Yukawa}$**
- **Production** : réel en canal-s et en paire qui n'est pas étudié ici.
- Processus Drell-Yann  $q\bar{q} \rightarrow Z/\gamma \rightarrow e^-e^+$  + **échange de LQ en canal t/u à haute masse invariante  $\rightarrow$  intéressant ! car ne dépend pas de la cinématique du collisionneur (énergie dans le centre de masse)**
- Effet indirect sur la section efficace de paires  $e^+e^-$ .



-  G. Aad *et al.* ATLAS Collaboration.  
*Search for contact interactions and large extra dimensions in dilepton events from pp collisions.*  
*Phys. Rev. D***87**, (2013) 015010.
-  S. Chatrchyan *et al.* CMS Collaboration.  
*Search for pair production of first-second generation scalar leptoquarks in pp collisions.*  
*Phys. Rev. D***86**, (2012)052013.
-  J. R. Gilmore. ZEUS Collaboration.  
*Search for contact interaction in Deep Inelastic Scattering.*

# Échange de LQ dans la limite CI@ATLAS

$$\text{Si } |\hat{t}| \leq \hat{s} \leq m_{LQ}^2 \implies \frac{\lambda^2}{2(m_{LQ}^2 - \hat{t})} \equiv \frac{\lambda^2}{2m_{LQ}^2} \quad \hat{t} = \hat{t}, \hat{u}$$

$$\mathcal{L}_{LQ} = \eta_{ij} \frac{\lambda^2}{2m_{LQ}^2} \sum_{ij} (\bar{q}_i \gamma_\mu q_i) (\bar{e}_j \gamma^\mu e_j) \quad i, j = L, R$$

$$\mathcal{L}_{ATLAS} = \eta_{LL} \frac{4\pi}{\Lambda^2} \sum_q (\bar{q}_L \gamma_\mu q_L) (\bar{e}_L \gamma^\mu e_L) \quad \eta_{LL} = \pm 1$$

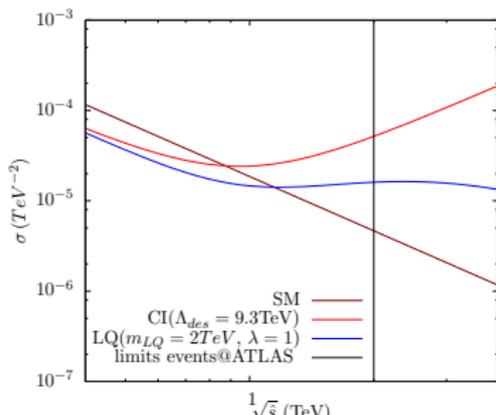
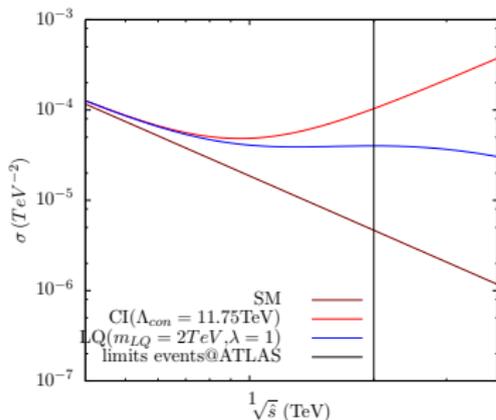
→ ATLAS@LHC [1], a mis des bornes sur  $\Lambda =$  échelle de l'énergie avec  $L = 5 \text{ fb}^{-1}$  :  $\Lambda_{cons} > 11.75 \text{ TeV}$  pour interférence constructive, et  $\Lambda_{des} > 9.3 \text{ TeV}$  pour interférence destructive avec SM.

→ CMS@LHC [2] "Production de paires de LQ de 1<sup>re</sup> génération " a exclu  $m_{LQ} \leq 830 \text{ GeV}$  indépendamment du couplage de Yukawa.

# Échange de LQ dans la limite CI@ATLAS

$$\frac{d\sigma(pp \rightarrow e^- e^+)}{d\hat{s}} = C(\hat{s}) \frac{\hat{s}}{s} \left( \frac{3g^4}{32\hat{s}^2} + \epsilon_{int} \frac{g^2}{\hat{s}} \frac{\lambda^2}{2m_{LQ}^2} + \epsilon_{NP} \frac{\lambda^4}{4m_{LQ}^4} \right)$$

- $C(\hat{s})$  = intégrale sur les PDFs (Parton Distribution Function)
- $\epsilon_{int}$  = coeff d'interférence du l'échange du LQ avec l'échange de  $Z/\gamma$
- $\epsilon_{NP}$  = coeff provenant de l'échange de LQ.
- $g$  = constante de couplage faible.
- $\hat{s}$  = énergie dans le centre de masse des partons
- $s$  = énergie dans le centre de masse de collision p-p



- Si  $\epsilon_{\text{int}} > \epsilon_{\text{NP}}$ ,  

$$\epsilon_{\text{int}}^{\text{ATLAS}} \frac{4\pi}{\Lambda^2} \geq \epsilon_{\text{int}}^{\text{LQ}} \frac{\lambda^2}{2m_{\text{LQ}}}$$
- Si  $\epsilon_{\text{int}} < \epsilon_{\text{NP}}$ ,  $\frac{4\pi}{\Lambda^2} \geq \sqrt{\epsilon_{\text{NP}}} \frac{\lambda^2}{2m_{\text{LQ}}}$
- Au delà de la ligne verticale ( $\sim 1.8 \text{ TeV}$ ), ATLAS n'a enregistré aucun événement.

- Statistiques de Poisson sont utilisés pour estimer le niveau de confiance "CL" d'exclusion

	Interaction / $m_{LQ} = 2 \text{ TeV}$	$\epsilon_{int}$	$\epsilon_{NP}$	$\lambda^2 <$	CL
ATLAS	$[(\bar{u}\gamma^\mu P_L u) + (\bar{d}\gamma^\mu P_L d)] (\bar{e}\gamma^\mu P_L e) \left( \frac{\lambda^2}{2m^2} \pm \frac{1}{4} \frac{g^2}{s} \right)$	$\pm \frac{1}{6}$	1	1.1, 0.73	76%, 87%
$S_0^R$	$(\bar{u}\gamma^\mu P_R u)(\bar{e}\gamma_\mu P_R e) \left( \frac{\lambda_R^2}{2(m^2 - \bar{r})} - \frac{2}{3} \frac{g^2}{s} \right)$	$-\frac{2}{9}$	$\frac{2}{3}$	.87	89%
$S_0^L$	$(\bar{u}\gamma^\mu P_L u)(\bar{e}\gamma_\mu P_L e) \left( \frac{\lambda_l^2}{2(m^2 - \bar{r})} - \frac{1}{4} \frac{g^2}{s} \right)$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	.58	98%
$\tilde{S}_0^R$	$(\bar{d}\gamma^\mu P_R d)(\bar{e}\gamma_\mu P_R e) \left( \frac{\lambda_R^2}{2(m^2 - \bar{r})} + \frac{1}{3} \frac{g^2}{s} \right)$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{3}$	2.2	99%
$\tilde{S}_{1/2}^L$	$(\bar{d}\gamma^\mu P_R d)(\bar{e}\gamma^\mu P_L e) \left( -\frac{\lambda_l^2}{2(m^2 - \bar{r})} + \frac{1}{6} \frac{g^2}{s} \right)$	$-\frac{1}{36}$	$\frac{1}{3}$	6.6(1.64)	100%, 80%
$S_{1/2}^R$	$[(\bar{u}\gamma^\mu P_L u) + (\bar{d}\gamma^\mu P_L d)] (\bar{e}\gamma^\mu P_R e) \left( -\frac{\lambda_R^2}{2(m^2 - \bar{r})} - \frac{1}{6} \frac{g^2}{s} \right)$	$\frac{1}{12}$	1	1.46	99.96%
$S_{1/2}^L$	$(\bar{u}\gamma^\mu P_R u)(\bar{e}\gamma_\mu P_L e) \left( -\frac{\lambda_l^2}{2(m^2 - \bar{r})} - \frac{1}{3} \frac{g^2}{s} \right)$	$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{3}$	1.1	95%
$S_1^L$	$\left[ (\bar{u}\gamma^\mu P_L u) \left( \frac{\lambda_l^2}{2(m^2 - \bar{r})} - \frac{1}{4} \frac{g^2}{s} \right) + 2(\bar{d}\gamma^\mu P_L d) \left( \frac{\lambda_l^2}{(m^2 - \bar{r})} + \frac{1}{4} \frac{g^2}{s} \right) \right] (\bar{e}\gamma_\mu P_L e)$	$\sim 0$	$\frac{4}{3}$	.80	86%

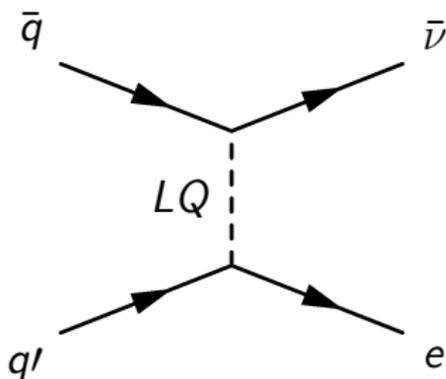
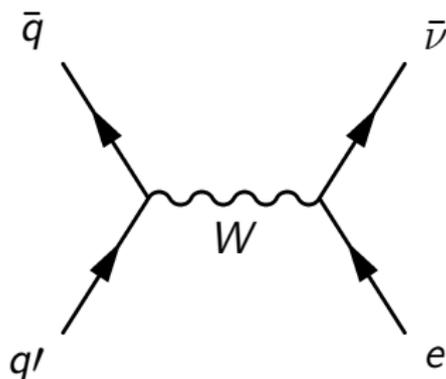
# Inclure le propagateur de LQ

- Si le propagateur de LQ est restauré i.e.  $\frac{\lambda^2}{(m^2 - \hat{t})}$
- Limites supérieures sur  $\lambda$  pour  $m_{LQ} < 2\text{TeV}$ , trouvés pour  $\sqrt{\hat{s}} = M_{ee} = 2\text{TeV}$ .
- Pour avoir un effet significatif,  $\Delta n = |n_{LQ} - n_{SM}| \geq 3\sqrt{n_{SM}}$ , est imposé pour chaque type de LQ

$m_{LQ} = 1 \text{ TeV}$	$\lambda_{LQ}$
$S_0^R$	$< 1.1$
$S_0^L$	$< 1$
$\tilde{S}_0^R$	$< 1.1$
$S_{1/2}^L$	$< 1$
$S_{1/2}^R$	$< 1$
$\tilde{S}_{1/2}^L$	$< 1.2$
$S_1^L$	$< 0.9$

TAB.: Sensibilité du LHC au leptoquarks à  $\sqrt{\hat{s}} = 2 \text{ TeV}$

# Echange de LQ dans les processus à CC



- Limites de DIS@HERA [3] sur les interactions de contact dans le canal  $e\nu q\bar{q}$  sont  $\Lambda_{\pm} = 2.4\text{TeV}$

$$\mathcal{L}_{DIS} = \eta_{LL} \frac{4\pi}{\Lambda^2} (\bar{u}_L \gamma_{\mu} d_L) (\bar{\nu}_L \gamma^{\mu} e_L)$$

# Interaction de contact DIS

- Pour  $M_W \leq m_{LQ} \leq \sqrt{\hat{s}}$ , le singlet  $S_0^L$  peut être échangé en canal-u dans  $d\bar{u} \rightarrow e^- \bar{\nu}$  et sera étudié constructivement avec l'analyse DIS avec ( $\Lambda = 2.4\text{TeV}$ ).

$$\frac{\lambda^2}{2m^2} \leq \frac{4\pi}{\Lambda^2} \sim 2.18 \text{TeV}^{-2}$$

- Pour  $m_{S_0^L} \geq \sqrt{\hat{s}^{max}} \sim 370\text{GeV}$ , Le couplage de Yukawa est contraint à  $\lambda \leq 0.9$

# Résultats et perspectives

- La recherche des **interactions de contact dans  $pp \rightarrow e^- e^+$**  au LHC permet d'exclure aussi les LQ de première génération avec différents couplages  $\lambda$ .
- La 4-impulsion de la nouvelle particule peut être négligée uniquement si la particule est très **massive** et possède un **couplage fort**.
- La difficulté réside dans la translation des bornes d'ATLAS à tous les leptarquarks possibles, autrement, il sera intéressant si les collaborations expérimentales comme **ATLAS**, **mettent en plus des limites sur la taille du terme d'interférence avec le SM**.

# Projet de thèse

## Étude de la production de paires de bosons de jauge (WW, WZ et ZZ) dans les collisions p-p à $\sqrt{s} = 13\text{TeV}$ avec le détecteur ATLAS

- Vertex à trois bosons de jauge est l'une des conséquences de l'invariance de jauge sous le groupe SU(2).
- Mesures très intéressantes avec l'augmentation de l'énergie et de la luminosité au près du LHC, afin de trouver des limites précises sur les paramètres du TGC.
- Nouvelles voies pour la recherche des effets au delà du SM