

# À la recherche d'une nouvelle physique dans le secteur du quark top ( $t\bar{t}$ ) à haute énergie.

Fontenla Barba, Yanis.

Universidad de Valencia

yafonbar@alumni.uv.es

Mercredi 20 Avril 2016

- 1 Introduction et Motivation.
- 2 Le modèle standard (SM) et la physique BSM.
- 3 Accélérateur de particules LHC et le détecteur ATLAS.
- 4 Simulation de données Monte Carlo (MC) pour mesurer la masse.
- 5 Spectres de masses invariantes des candidats  $Z'$ .
- 6 Plot d'exclusion de masse réalisé par la collaboration ATLAS.
- 7 Recherche de la résonance  $Z'$  menée par la collaboration.
- 8 Mesure de l'asymétrie de charge.
- 9 Conclusions.
- 10 Bibliographie.

**La résonance  $Z'$  peut être étudiée à l'aide du spectre de masse invariante  $top$ -antitop auprès de l'expérience ATLAS.** Les événements furent générés avec le programme de simulation Monte Carlo (MC) nommé MadGraph, à une énergie au CM de  $\sqrt{s} = 8$  TeV et une luminosité intégrée de  $20 \text{ fb}^{-1}$ . L'étude nous permettra de savoir si,

- est-il possible l'existence du Boson  $Z'$  *leptophobic* [1] prédit par les théories physiques qui vont au-delà du Modèle Standard (BSM)?
- est-il possible la reconstruction de la masse invariante du Boson  $Z'$  parmi les produits de la désintégration de paires  $top$ -antitop ( $t\bar{t}$ ) à haute énergie?

Nous déterminerons les distributions des masses invariantes de notre résonance et nous les comparons avec quelques résultats ( $Z'$  et  $g_{KK}$ ) acquis par la collaboration ATLAS. L'analyse du spectre de masse invariante diélectrons nous fournira l'intervalle en énergie d'où l'on espère trouver la résonance  $Z'$ . **Nous étudierons les diagrammes d'exclusion des Bosons** prédits par les modèles théoriques de la physique BSM.

En outre, **nous déterminerons l'observable d'asymétrie de charge** subjacente dans la désintégration de la résonance en paires  $top$ -antitop. La variable  $A_c$  nous permet d'effectuer une discrimination et classification de nouvelle physique des particules.

# Le modèle standard (SM) et la physique BSM.

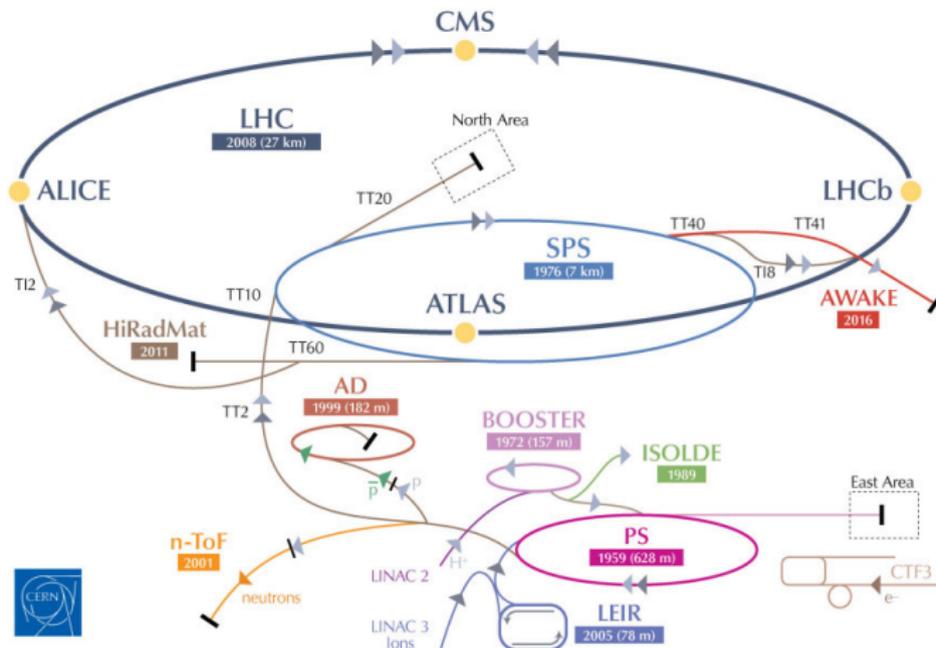
La **théorie du Modèle Standard** nous dit que:

- Les constituants de la matière interagissent les uns avec les autres à travers les médiateurs de l'interaction :
  - 1 Forte  $\rightarrow$  gluon
  - 2 Electrofaible  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Électromagnétique} \rightarrow \gamma \\ \text{Faible} \rightarrow Z^0, W^\pm \end{array} \right.$
- Toute interaction est régie par les théories de jauge a groupe de symétrie,  $SU(3)_C \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ .

Fermions [ $J = 1/2$ ]			
Leptons		Quarks	
Particule	Charge	Particule	Charge
$\nu_e$	0	$u$	2/3
$e$	-1	$d$	-1/3
$\nu_\mu$	0	$c$	2/3
$\mu$	-1	$s$	-1/3
$\nu_\tau$	0	$t$	2/3
$\tau$	-1	$b$	-1/3

Boson [ $J = 1$ ]		
Type	Charge	Masse [ $\text{GeV}/c^2$ ]
$\gamma$	0	0
$W^\pm$	1, -1	80
$Z^0$	0	91
$g$	0	0

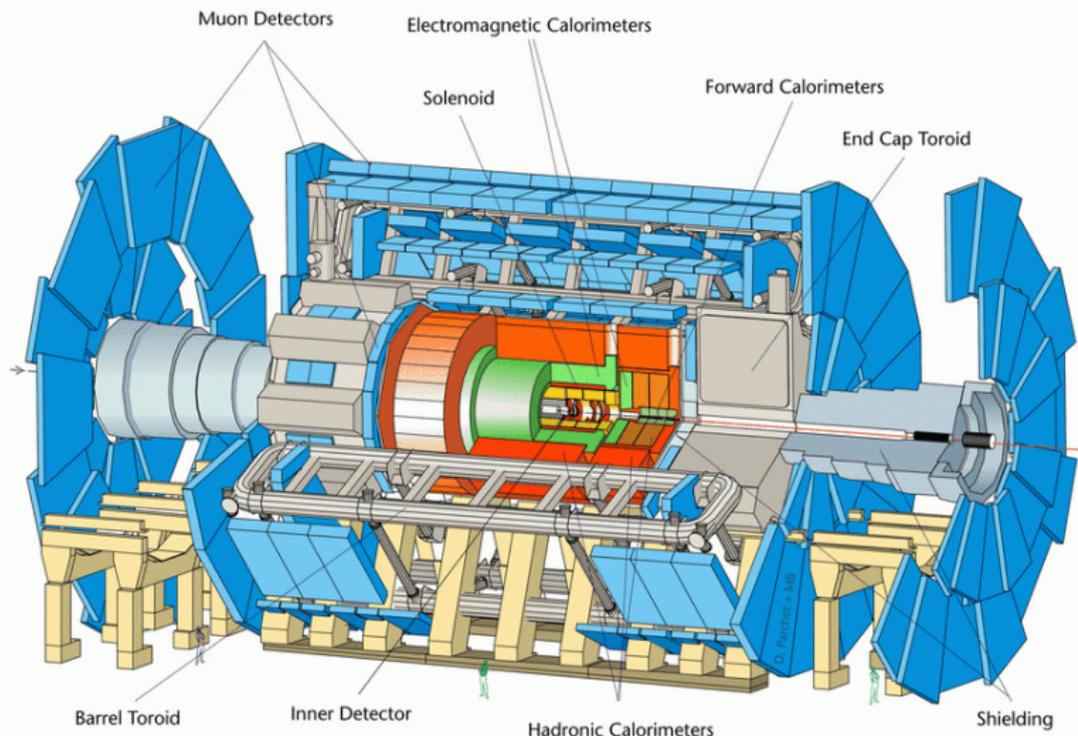
Le Modèle Standard nous évoque l'existence d'une multitude de questions à l'attente d'une réponse, c'est pour cela qu'apparaît la **Physique au-delà du Modèle Standard** (BSM) [2].  
Quelque question peuvent être énoncée : est-ce-que le problème en symétrie de jauge peut être résolu ?, la matière noire existe-t-elle ?, peut-on unifier l'ensemble des interactions fondamentales et créer la théorie du tout ?, ... .



Le LHC est situé près de Genève (Suisse) à environ 100 mètres sous terre.

Circonférence du LHC [Km]	27	Protons par paquet (au départ)	$1'1 \cdot 10^{11}$
Champ magnétique dipolaire maximal [T]	8'3	Température d'exploitation des dipôles [K]	1'9
Nombre de dipôles principaux	1232	Énergie nominale (protons) [TeV]	14
Espace entre paquets [ns]	25		

Le détecteur ATLAS a 25 mètres de diamètre pour environ 40 mètres de longueur.



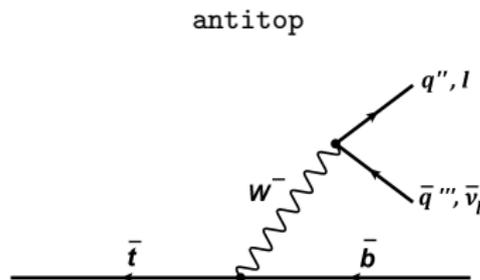
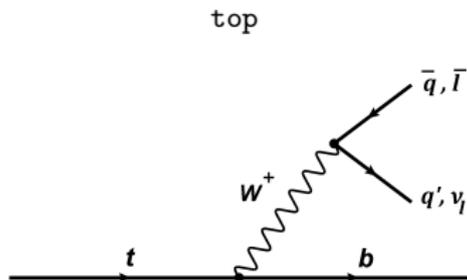
# Simulation de données Monte Carlo (MC) pour mesurer la masse.

Le Boson  $Z'$  est un bon **candidat** pour établir la recherche d'une **nouvelle physique BSM** à l'échelle du TeV. Il existe une grande variété de modèles théoriques (BSM) qui prédisent l'existence du Boson  $Z'$ , par exemple le modèle extra-dimensionnels, les modèles TopColor ou TopSeesaw, le Modèle Standard Séquentiel (SSM), ... .

Les données candidats au Boson  $Z'$  (*leptophobic*) furent générées par le programme de simulation et reconstruction d'événements MadGraph. Les événements simulés ( $pp \rightarrow Z' \rightarrow t\bar{t}$ ) furent créés en utilisant le canal de désintégration semi-leptonique [4] de paires *top-antitop* à une énergie  $\sqrt{s}$  de 8 TeV.

$$t\bar{t} \rightarrow W^+ b W^- \bar{b} \rightarrow q \bar{q}' b l \bar{\nu}_l \bar{b} \quad , \text{ ou } , \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{leptons} = e, \mu, \tau \\ q, q' = u, d, c, s \end{array} \right. ,$$
$$\hookrightarrow \bar{l} \nu_l b q \bar{q}' \bar{b}$$

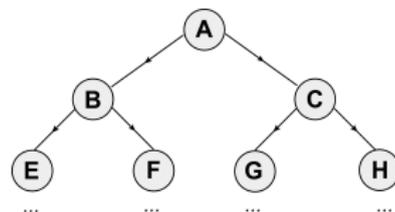
avec un BR(semi-leptonique) de 43'5 %. Dû à l'existence d'un quark bottom dans le processus de désintégration, nous considérons au moins un événement b-tagging dans le traitement de données. Les diagrammes de Feynman sont :



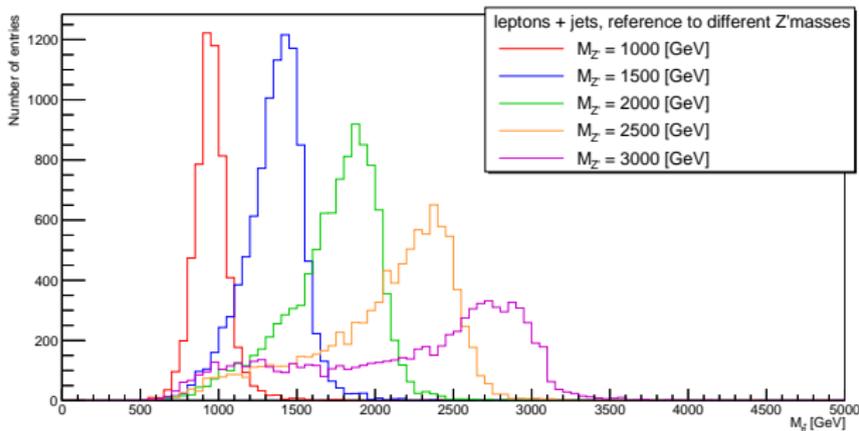
# Spectres de masses invariantes des candidats $Z'$ .

Toutes les données simulées par la méthode MC ont été sauvegardées sous une configuration en branches (*branch*) dans des fichiers à Ntuples et stockées dans une structure de données nommée arbre enraciné (*tree*) .

Structure de données

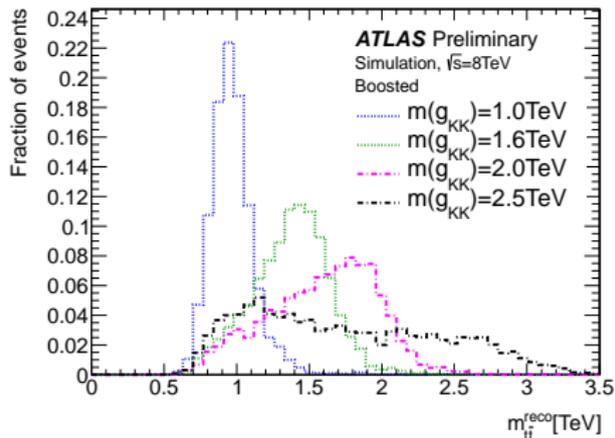
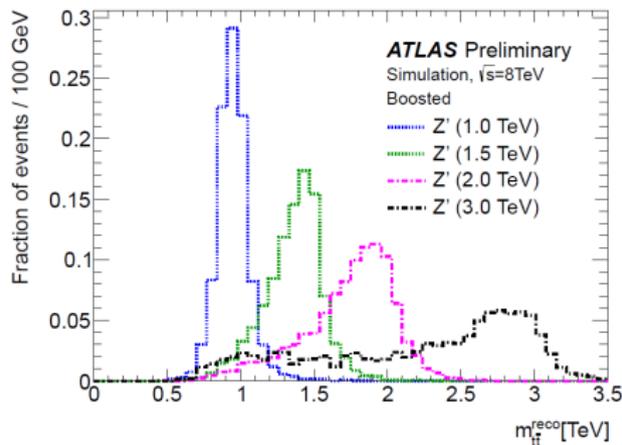


Nous sommes parvenues à extraire un spectre de masse invariante *top-antitop* à haute énergie d'un sous-ensemble de données MC acquis de ATLAS. Les distributions de masses invariantes des candidats  $Z'$  représentent les produits de désintégration semi-leptonique des paires *top-antitop* à hautes énergies.



# Spectres de masses invariantes acquis par la collaboration ATLAS.

Les distributions spectrales de différentes masses invariantes décrivent la reconstruction d'évènements des candidats à  $Z'$  ( $Z' \rightarrow t\bar{t}$ ) et à  $g_{KK}$  ( $q\bar{q} \rightarrow g_{KK} \rightarrow t\bar{t}$ ) acquises par la collaboration ATLAS à une énergie CM de  $\sqrt{s} = 8$  TeV [5].

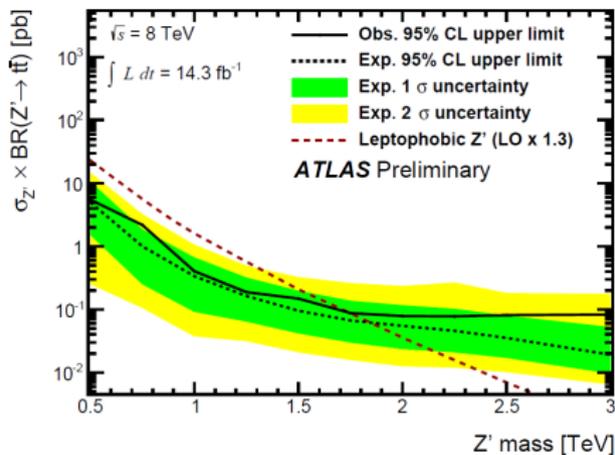


Les longues ailes des distributions spectrales apparaissent dues aux corrélations existantes entre les termes de masses et impulsions décrites dans la formule de reconstruction de la masse  $t\bar{t}$ . Les mêmes termes de corrélation apparaissent dans la fonction d'analyse de données  $\chi^2$ ,

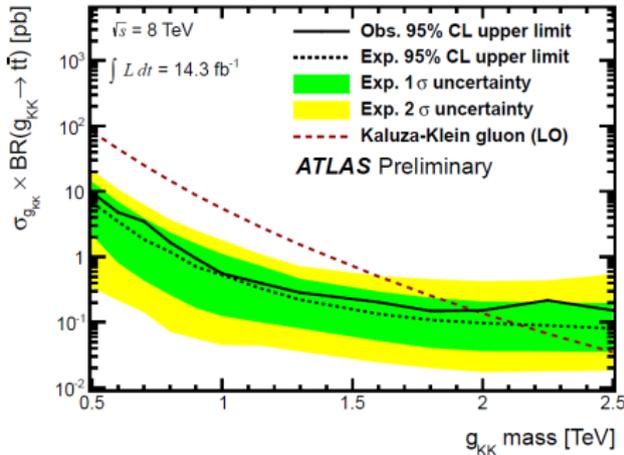
$$\chi^2 = \left[ \frac{m_{jj} - m_W}{\sigma_W} \right]^2 + \left[ \frac{m_{jib} - m_{jj} - m_{th-W}}{\sigma_{th-W}} \right]^2 + \left[ \frac{m_{j\nu} - m_{tl}}{\sigma_{tl}} \right]^2 + \left[ \frac{(PT, jib - PT, j\nu) - (PT, th - PT, tl)}{\sigma_{diff pT}} \right]^2.$$

# Plot d'exclusion de masse réalisé par la collaboration ATLAS.

Les diagrammes d'exclusions des masses invariantes des résonances  $Z'$  *leptophobic* et gluon de Kaluza-Klein ( $g_{KK}$ ) nous prévoient les limites attendues/observées imposées sur les masses des Bosons, prédites par les modèles BSM (correction LO) à 95 % de niveau de confiance. Nous considérons l'existence d'une particule que si, les valeurs respectent les conditions suivantes : Une signification  $> 3\sigma \rightarrow$  preuve dite intéressante (significatif) et  $> 5\sigma \rightarrow$  découverte scientifique [5].



Obs	$0,5 \text{ TeV} < m_{Z'} < 1,8 \text{ TeV}$
Att	$0,5 \text{ TeV} < m_{Z'} < 1,9 \text{ TeV}$



Obs	$0,5 \text{ TeV} < m_{g_{KK}} < 2,1 \text{ TeV}$
Att	$0,5 \text{ TeV} < m_{g_{KK}} < 2,0 \text{ TeV}$

# Recherche de la résonance $Z'$ menée par la collaboration.

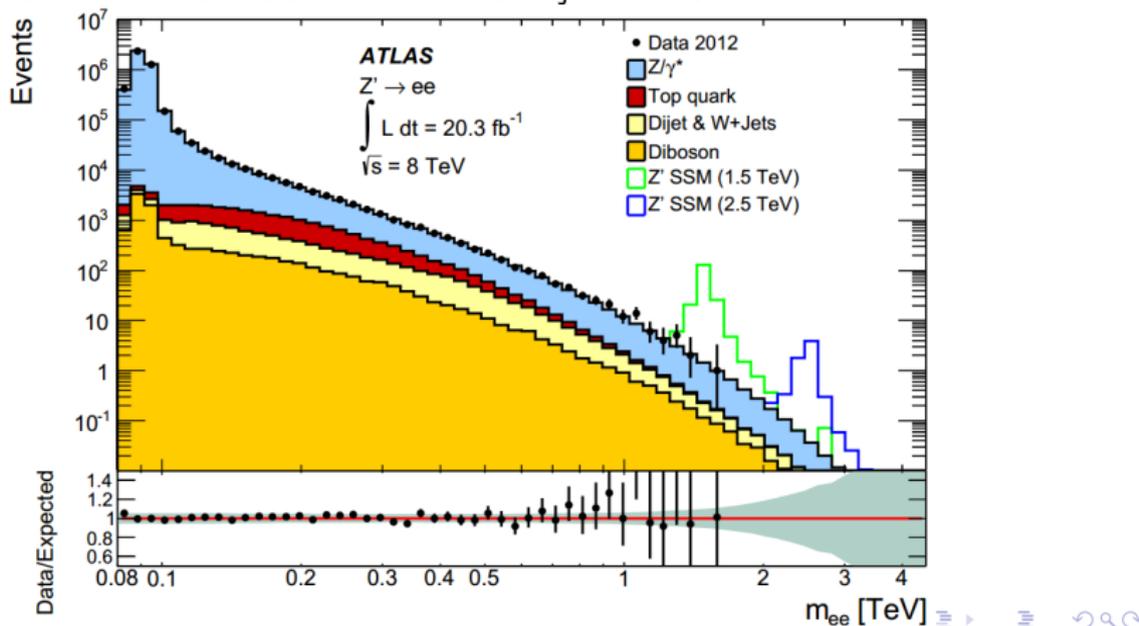
La collaboration ATLAS a effectué la reconstruction de la masse invariante diélectron ("boosted") pour estimer le potentiel de découverte de la résonance  $Z'$  [6].

## 1 Sélection d'événements "signal" :

- Critères pour isoler les événements leptoniques de hautes  $p_T$ .

## 2 Éliminer les événements de bruit de fond :

- Dédaigner les événements  $Z/\gamma^*$ ,  $t\bar{t}$ ,  $VV$ ,  $Z \rightarrow \tau\tau$ .
- Réaliser des estimations à l'aide des tests d'ajustements des données.



# Mesure de l'asymétrie de charge.

L'asymétrie de charge apparaît de façon naturelle dans la production de paires *tops-antitops*. L'asymétrie de charge est une variable qui nous permet la discrimination et la classification des données qui obéissent à un certain modèle théorique.

$$A_C = \frac{N(\Delta|y| > 0) - N(\Delta|y| < 0)}{N(\Delta|y| > 0) + N(\Delta|y| < 0)}, \text{ ou : } \Delta|y| = |y_t| - |y_{\bar{t}}|.$$

Il existe 4 processus d'interaction (2 topologiquement pareilles) qui nous permettrait d'obtenir une valeur d'asymétrie de charge qui répond à notre théorie de perturbation au 3(ème) ordre. La valeur prédite par le modèle standard de  $A_C^{SM} = 1,23 \pm 0,05 \%$  [8, 9], est en excellent accord avec la valeur extraite de l'expérience ATLAS de  $A_C = 0,6 \pm 1,0 \%$  (inclusive) [9].

Radiation de gluons.

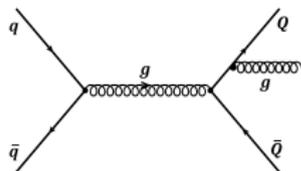
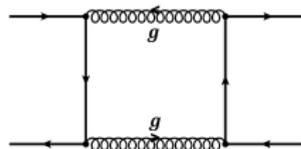


Diagramme en boîte.



Radiation *bremstrahlung*.

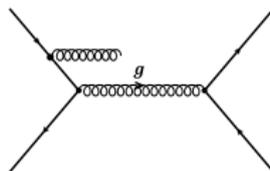
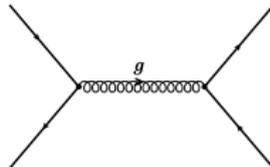
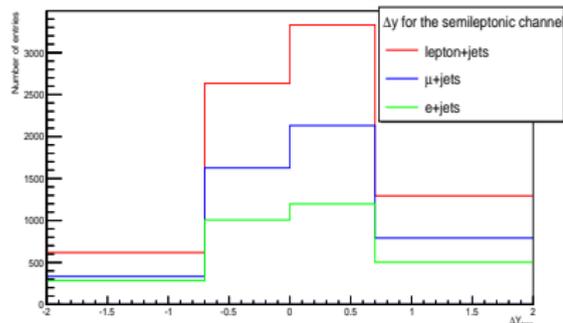


Diagramme en arbre.



Histogramme de rapidité ( $m_{Z\tau} = 3 \text{ TeV}$ ).



# L'asymétrie de charge présentes dans nos valeurs.

ÉVÉNEMENTS [#]	$M_{Z'}$ [TeV]	lepton + jets			muon + jets			electron + jets		
		$N_{Tot}$	$N_+$	$N_-$	$N_{Tot}$	$N_+$	$N_-$	$N_{Tot}$	$N_+$	$N_-$
1		5650±80	3280±60	2370±50	2870±50	1660±40	1210±40	2780±50	1620±40	1160±30
1'5		9620±100	5660±80	3960±60	5240±70	3100±60	2130±50	4390±70	2560±50	1820±40
2		10120±100	5980±80	4150±60	5850±80	3440±60	2420±50	4270±70	2540±50	1730±40
2'5		9350±100	5280±70	4070±60	5650±80	3210±60	2430±50	3700±60	2070±50	1640±40
3		7880±90	4620±70	3250±60	4880±70	2920±50	1960±40	2990±60	1700±40	1290±40

VALEURS D'ASYMÉTRIES [%]		$A_C^{(l+jets)}$	$A_C^{(\mu+jets)}$		$A_C^{(e+jets)}$	
			$A_C^{(\mu+jets)}$	$A_C^{(\mu+jets)'} = 16, 2 \pm 1, 3$	$A_C^{(e+jets)}$	$A_C^{(e+jets)}$
1		$A_C^{(l+jets)}$ = 16, 2 ± 1, 3	$A_C^{(\mu+jets)}$ = 15, 7 ± 1, 8		$A_C^{(e+jets)}$ = 16, 7 ± 1, 9	
				$A_C^{(l+jets)'} = 16, 2 \pm 1, 3$		
1'5		$A_C^{(l+jets)}$ = 17, 7 ± 1, 0	$A_C^{(\mu+jets)}$ = 18, 5 ± 1, 4		$A_C^{(e+jets)}$ = 16, 8 ± 1, 5	
				$A_C^{(l+jets)'} = 17, 7 \pm 1, 0$		
2		$A_C^{(l+jets)}$ = 18, 0 ± 1, 0	$A_C^{(\mu+jets)}$ = 17, 4 ± 1, 3		$A_C^{(e+jets)}$ = 19, 0 ± 1, 5	
				$A_C^{(l+jets)'} = 18, 0 \pm 1, 0$		
2, 5		$A_C^{(l+jets)}$ = 13, 0 ± 1, 0	$A_C^{(\mu+jets)}$ = 13, 8 ± 1, 3		$A_C^{(e+jets)}$ = 11, 7 ± 1, 6	
				$A_C^{(l+jets)'} = 12, 7 \pm 1, 1$		
3		$A_C^{(l+jets)}$ = 17, 4 ± 1, 1	$A_C^{(\mu+jets)}$ = 19, 7 ± 1, 4		$A_C^{(e+jets)}$ = 13, 7 ± 1, 8	
				$A_C^{(l+jets)'} = 16, 7 \pm 1, 2$		

In this work we have simulated top-antitop resonances like  $Z'$  and Kaluza-Klein gluon predicted by diferents BSM. **The invariant mass has been reconstructed and compared with the ATLAS collaboration results.**

On the other hand, we have studied the results achieved by ATLAS collaborations using the data coming from the period 2009-2012 for these resonances ( $Z'$  and  $g_{KK}$ ). They have not been observed yet but **some limits have been provided by the ATLAS collaborations** :

- The exclusion limits for  $Z'$  mass:
  - 1 Obs:  $0.5 \text{ TeV} < m_{Z'} < 1.8 \text{ TeV}$ .
  - 2 Exp:  $0.5 \text{ TeV} < m_{Z'} < 1.9 \text{ TeV}$ .
- The exclusion limits for KK-gluon mass:
  - 1 Obs:  $0.5 \text{ TeV} < m_{g_{KK}} < 2.1 \text{ TeV}$ .
  - 2 Exp:  $0.5 \text{ TeV} < m_{g_{KK}} < 2.0 \text{ TeV}$ .

Moreover, a study using the charge asymmetry has been performed, using the simulated data at different resonance mass values. We have shown the value of this asymmetry for different resonances ( $Z'$  and  $g_{KK}$ ), which depends on the resonance mass. The asymmetry predicted by the SM is  $\mathbf{A}_c^{SM} = 1.23 \pm 0.05 \%$  [8, 9] and the ATLAS collaboration using the data coming from the same period as before is  $\mathbf{A}_c = 0.6 \pm 1.0 \%$  (inclusive) [9].

- [1] Vernon Barger et al. , Six-Lepton Z0 Resonance at the Large Hadron Collider , Journal of High Energy Physics , arXiv : 0909.2641v2 , pp. 1 , 16 de Diciembre del 2009.
- [2] Paul Langacker , The Standard Model and Beyond , CRC Press Taylor & Francis Group , pp. 453-468 / 475 / 508-526 , 2010.
- [3] ATLAS Collaboration: G. Aad et al. , The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider , Institute of Physics publishing and sissa , JINST-3-S08003 , pp. 1-18 , 14 de Agosto del 2008.
- [4] Frank-Peter Schilling , top quark physics at the LHC: a review of the first two years , Journal of High Energy Physics , arXiv : 1206.4484v2 , pp. 6 / 11-12 / 30 , 17 de Abril del 2013.
- [5] The ATLAS Collaboration , A search for  $t\bar{t}$  resonances in lepton plus jets events with ATLAS using  $14 \text{ fb}^{-1}$  of proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  , Journal of High Energy Physics , pp. 5-8/16-17 , 13 de Mayo del 2013.
- [6] ATLAS Collaboration , Search for high-mass dilepton resonances in pp collisions at  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  with the ATLAS detector , Journal of High Energy Physics , arXiv : 1405.4123v2 , pp. 9-12 , 29 de Julio del 2014.
- [7] Paola Ferrario and Germán Rodrigo , Heavy colored resonances in  $t\bar{t}$ +jet at the LHC , Journal of High Energy Physics , arXiv : 0912.0687v1 , pp. 1-3 , 3 de Diciembre del 2009.

- [8] Werner Bernreuther et al. , Top quark and leptonic charge asymmetries for the Tevatron and LHC , Journal of High Energy Physics , *arXiv* : 1205.6580v2 , pp. 11 , 3 de Septiembre del 2012.
- [9] ATLAS Collaboration , Measurement of the top quark pair production charge asymmetry in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV using the ATLAS detector , Journal of High Energy Physics , ATLAS-CONF-2013-078 , pp 1/8 , 18 de Julio del 2013.