

Le quark top comme sonde pour la recherche de nouvelle physique au LHC avec le détecteur ATLAS

01 juillet 2015

- Contexte scientifique et expérimental
- Instrumentation pour l'upgrade
- Etudes phénoménologiques à 4tops
- Recherche de nouvelle physique avec ATLAS
- Préparation de l'analyse Run2 à 13TeV

Romain Kukla

CEA Saclay, DSM/Irfu/SPP

Directrice de thèse : A-I Etievre

Encadrant CEA : J-P Meyer



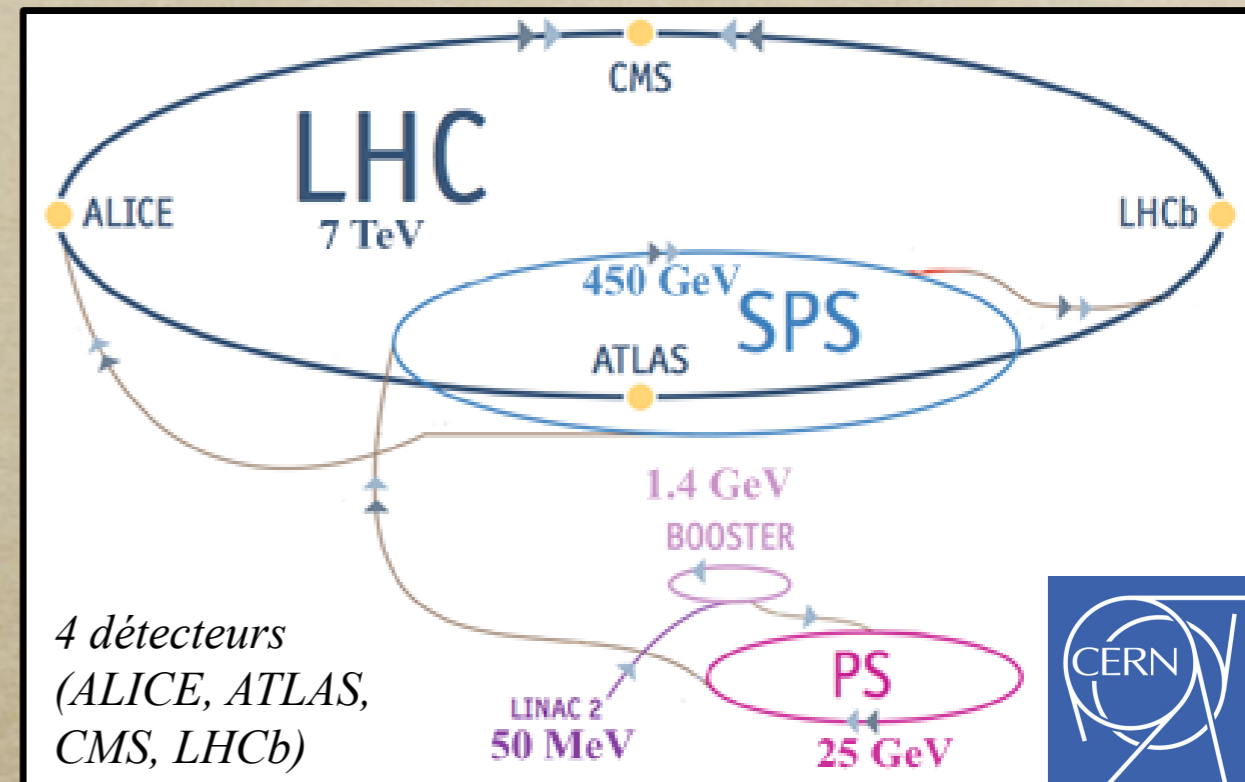
Contexte expérimental

Le Large Hadron Collider

- Collisionneur proton-proton
- 27 km circonférence, -271.25 °C
- 11 245 tours/s (chaque proton)
- $> 10^8$ collisions/s 50ns écart (Run1) → 25ns (Run2)

Run I : 2009 – 2012 (25 fb^{-1})

Run II : 2015 – 2018 ($\sim 100 \text{ fb}^{-1}$ prévus)



- Energie par faisceau : 3.5 TeV (2009) – 4 TeV (2012) – 6.5 TeV (2015)

Pourquoi augmenter l'énergie et la luminosité ?

- probabilité d'occurrence d'un processus rare augmente
- production de nouvelles particules plus massives permise
- LHC = stratégie de RECHERCHE de nouvelle physique

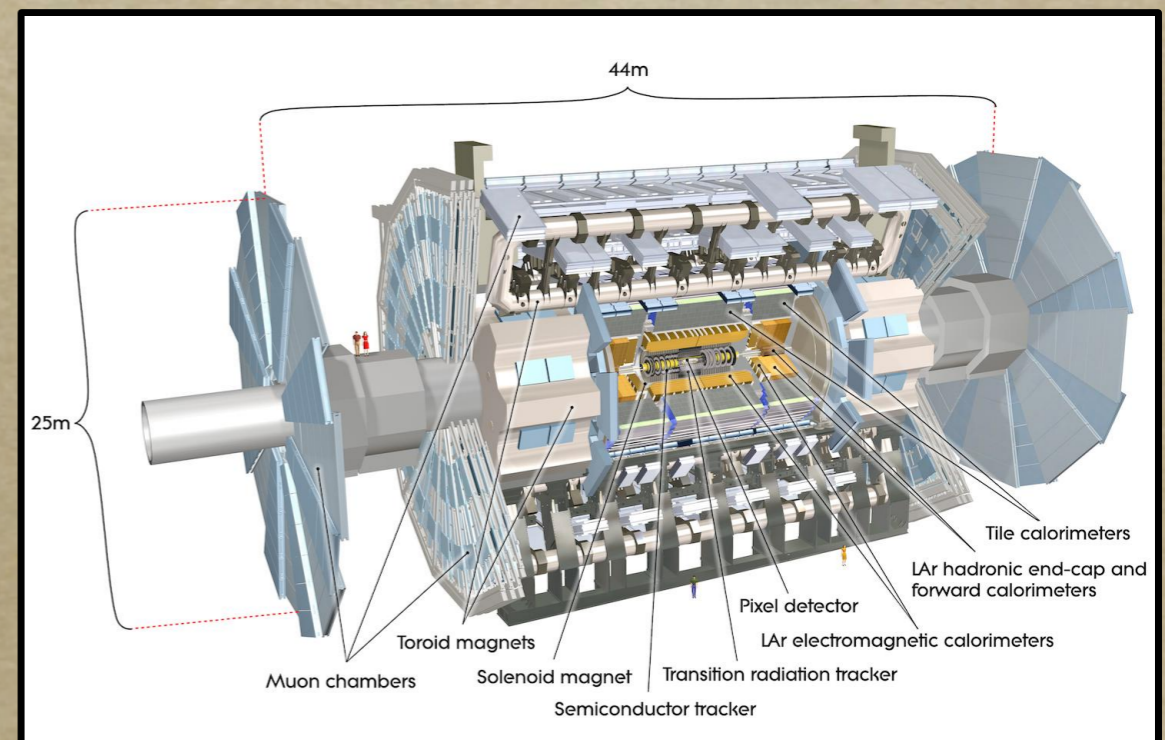
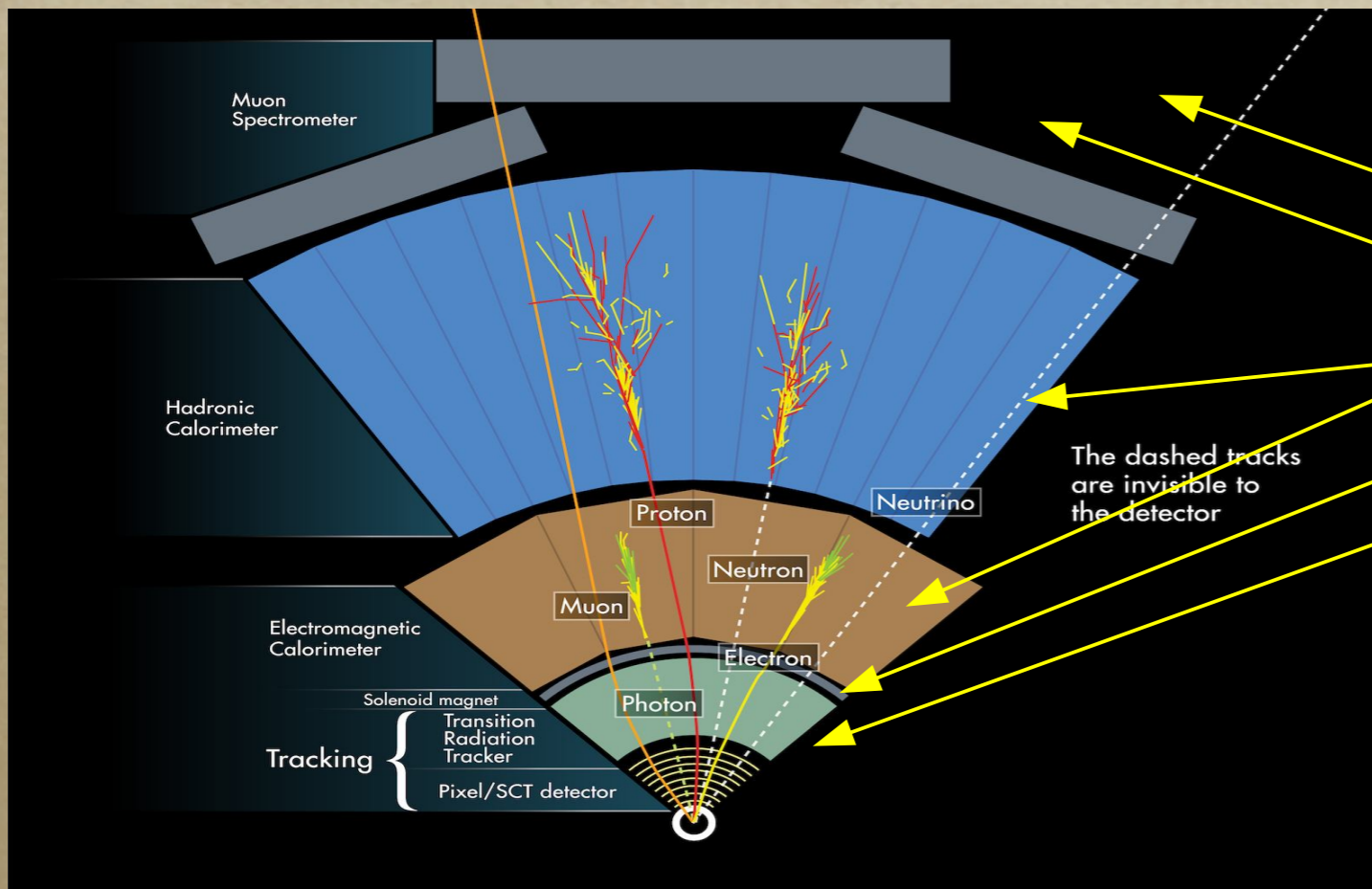
Contexte expérimental

Détecteur ATLAS

But : mesurer l'énergie, l'impulsion et la direction des particules produites et les identifier.

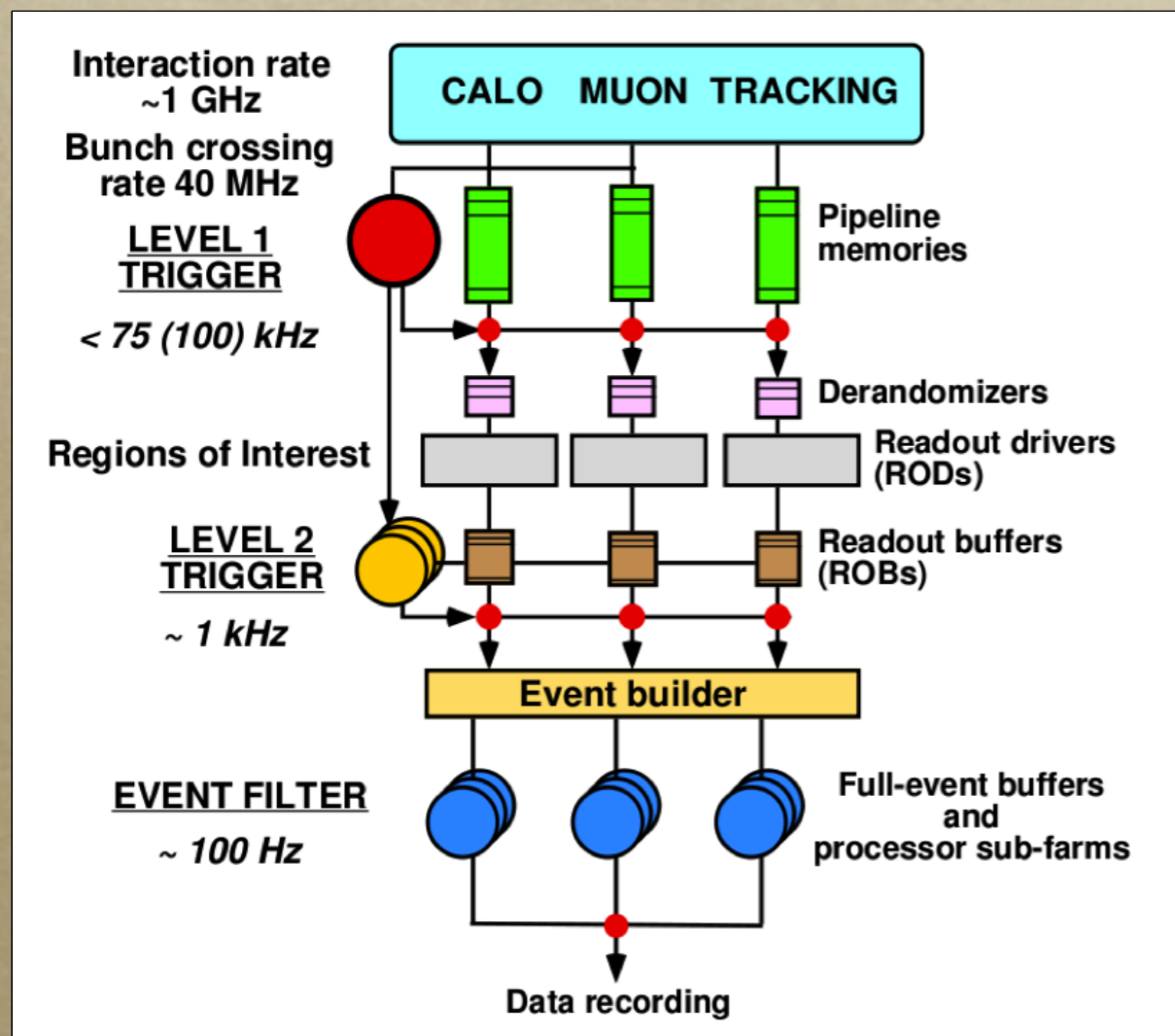
Sous-systèmes :

- Aimant toroïdal
- Spectromètre à muons
- Calorimètres (EM, hadroniques)
- Solénoïde
- Détecteur de traces interne



Chaque type de particule
laisse une signature spécifique

Systeme de déclenchement du calorimètre électromagnétique d'ATLAS



Taux de collision $= 10^8 \text{ coll/sec}$

X

Taille d'un événement brut = 1 Mo

→ Volume de données ~ **100 To/s**

Nécessaire de filtrer les événements pour n'enregistrer que des données intéressantes

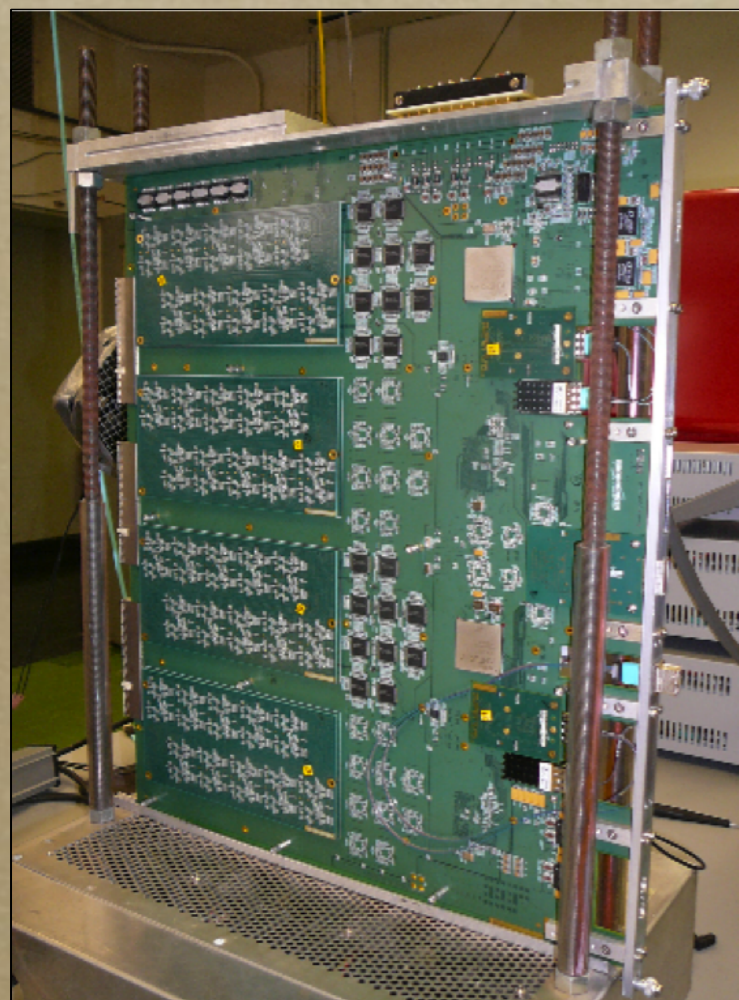
ATLAS possède un système à 3 niveaux qui scrute la présence d'objets physiques intéressants et rejette ~ 99,9997 % des collisions

(~100 événements par seconde quand même)

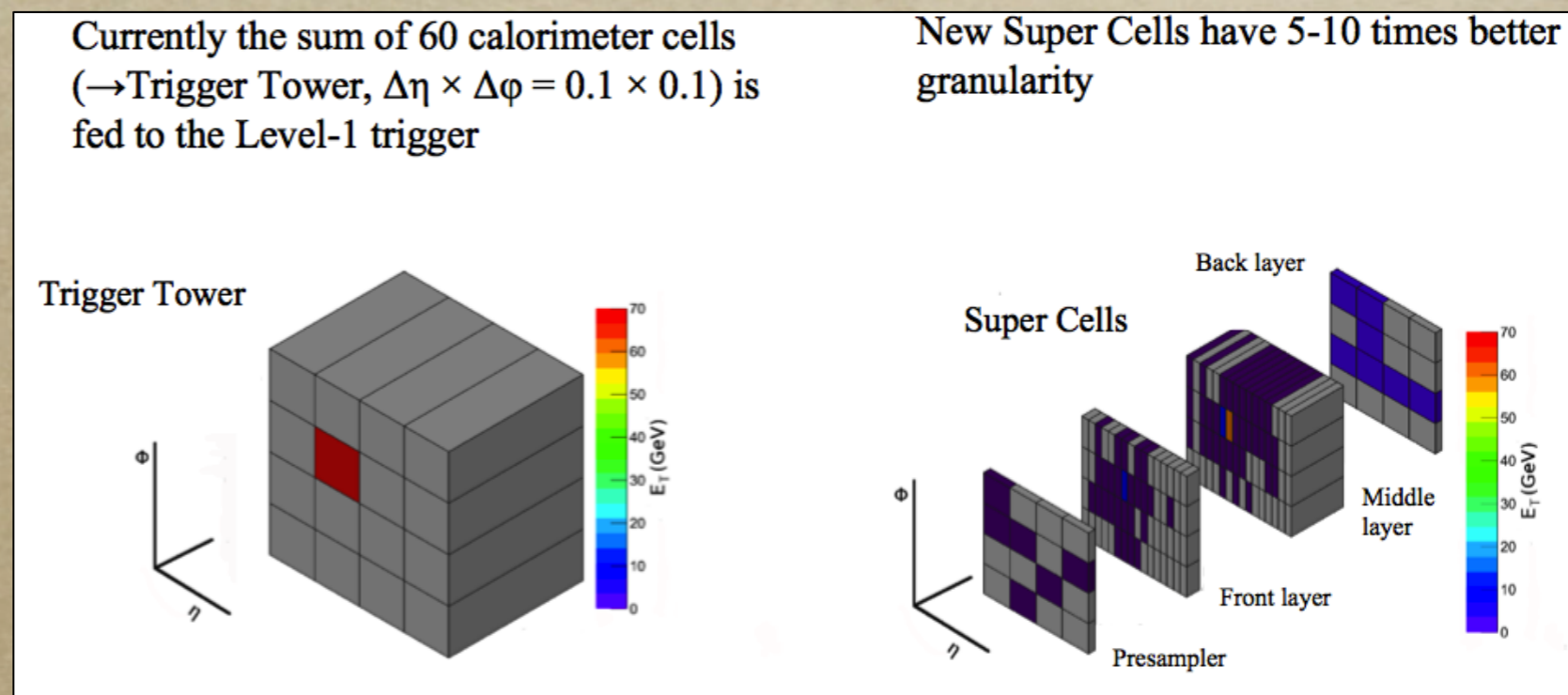
Upgrade du système de déclenchement du calorimètre électromagnétique d'ATLAS

Contexte :

- préparation de l'upgrade du détecteur ATLAS pour la montée en énergie/luminosité
- Conception d'un démonstrateur de carte d'électronique pour le système de déclenchement du calorimètre électromagnétique (LTDB) SPP/SEDI/LAL



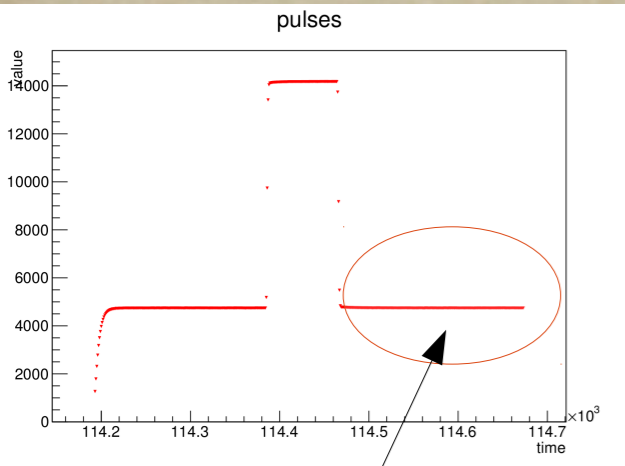
Actuellement sur le détecteur



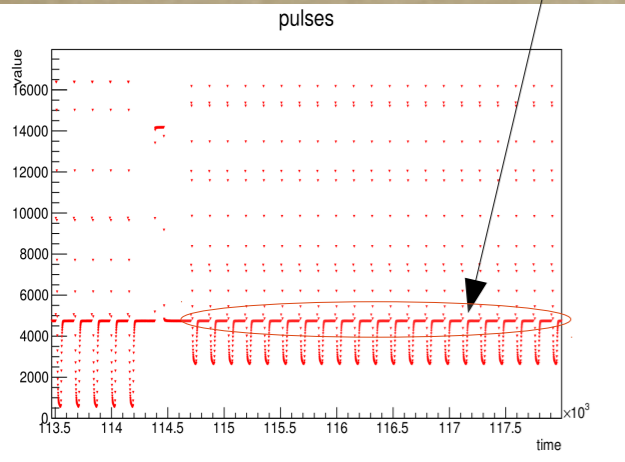
Améliore l'efficacité du filtrage grâce aux « supercells » qui augmente la granularité en profondeur et permet de prendre en compte la forme des gerbes pour la réjection

Caractérisation de la carte LTDB du calorimètre électromagnétique d'ATLAS

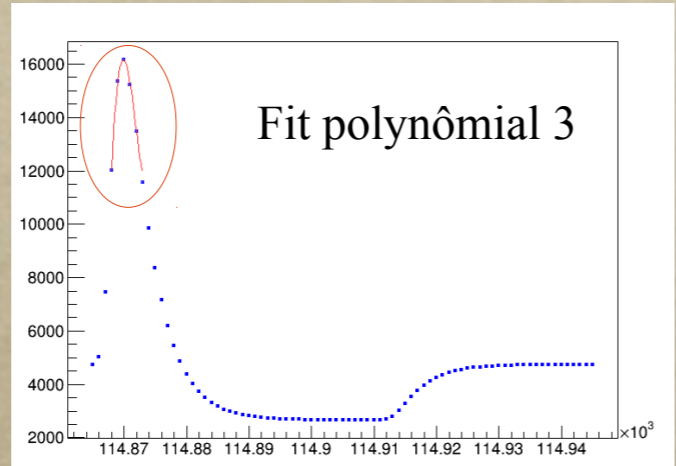
Bruit électronique



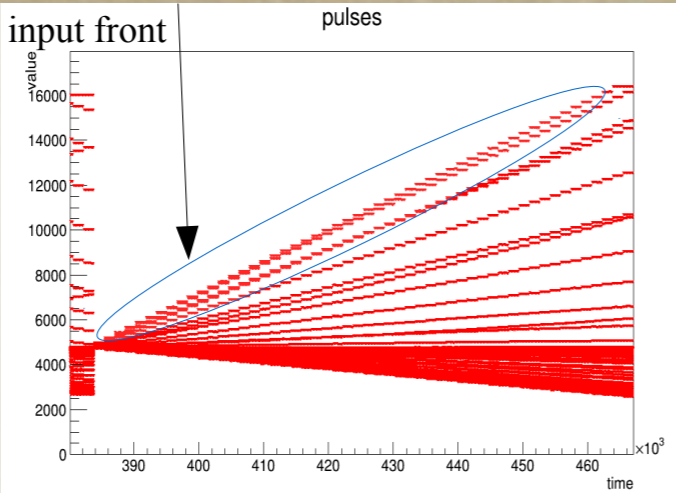
here (3x800ns) : no pulse
here (800ns between pulses)



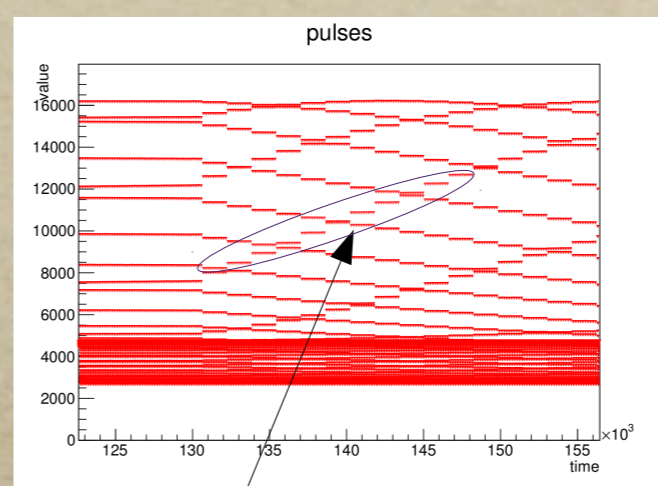
Reconstruction d'amplitude



Etude de la linéarité
(1 to 100 % by 1 % step)

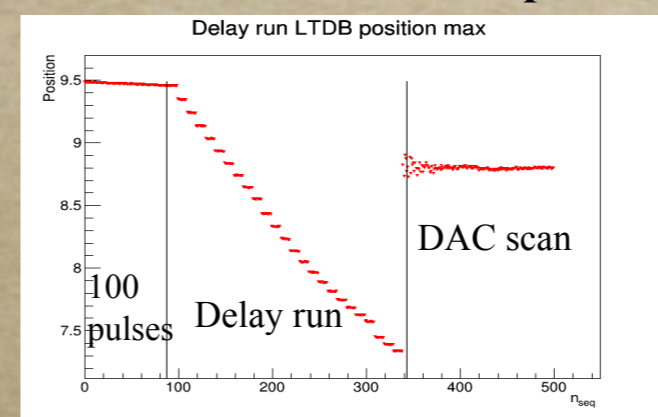


Stabilité en temps du pic

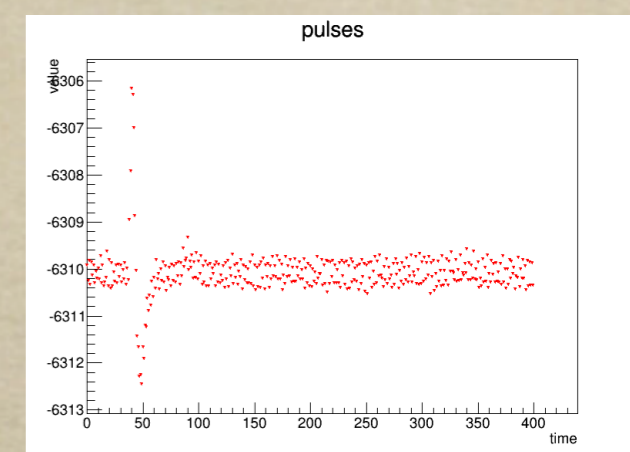


+1ns delay every 10 pulses (→ 24 ns)

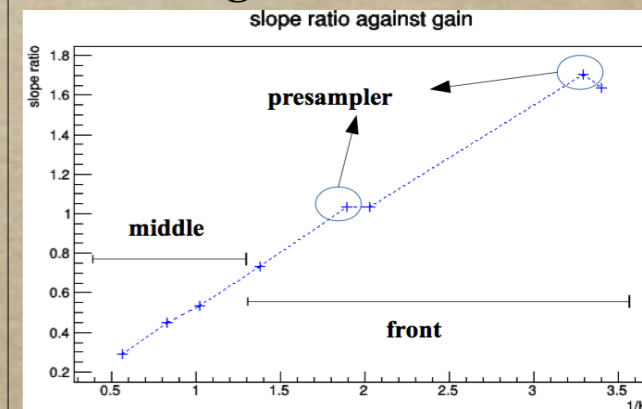
Effet d'un délai sur le pic



Bruit diaphonique



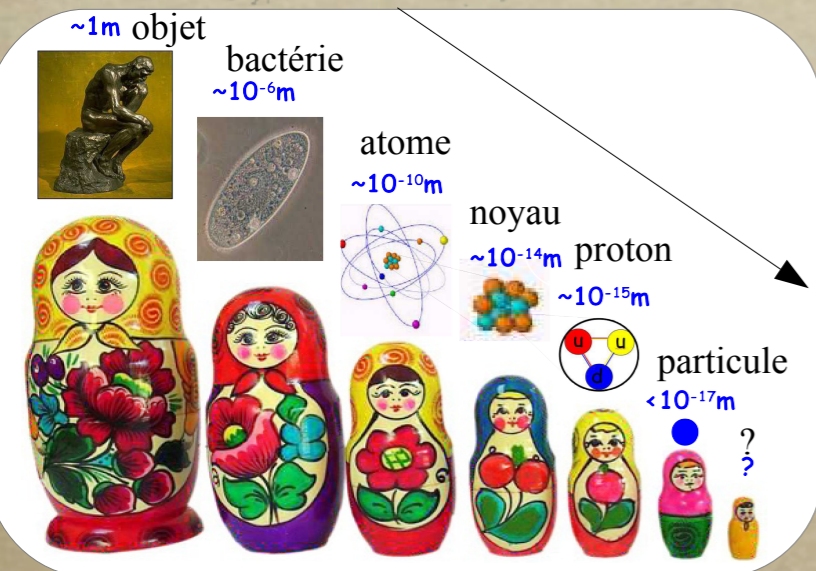
Effet du gain sur la linéarité



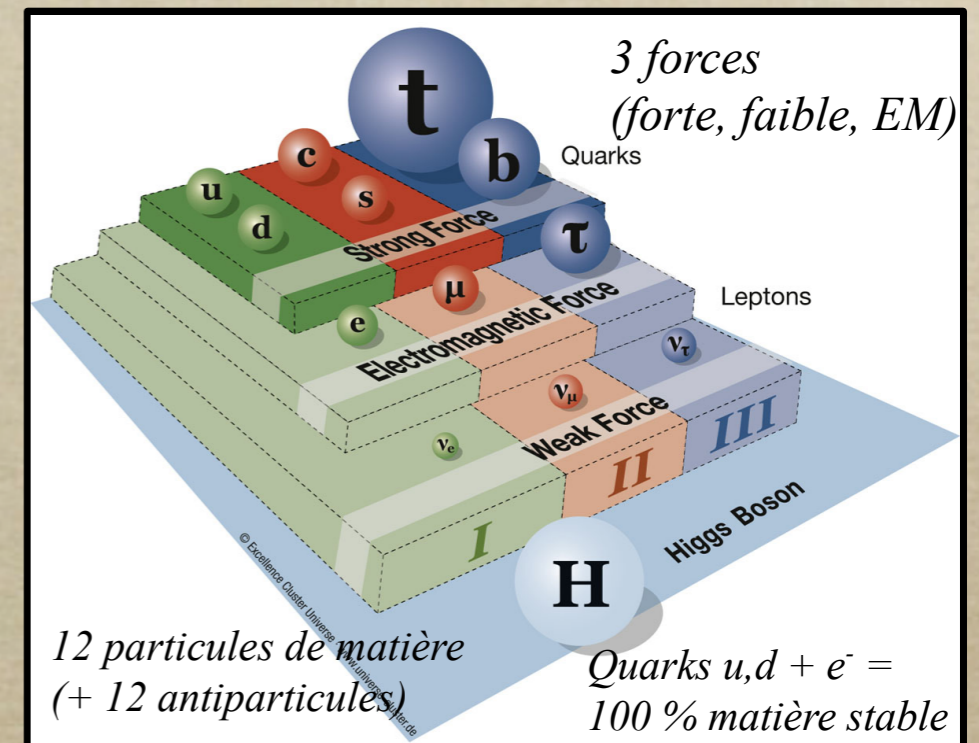
J'ai étudié les caractéristiques de la LTDB pour être sûr qu'elle se comporte comme voulu. Note interne ATLAS en cours de rédaction

Contexte scientifique

Au-delà du modèle standard de la physique des particules



« tableau périodique » des constituants élémentaires (matière/forces)



Dernières découvertes : 1995 quark top (Fermilab), 2012 boson de Higgs (CERN)

Plusieurs types d'extensions ont été proposées :
Faiblement couplées (SUSY) ou fortement couplées (Composite)



Candidats massifs à la matière noire
Inclure la force gravitationnelle
Expliquer les mécanismes post Big-Bang (asymétrie matière/antimatière)

Le quark top comme sonde de l'au-delà

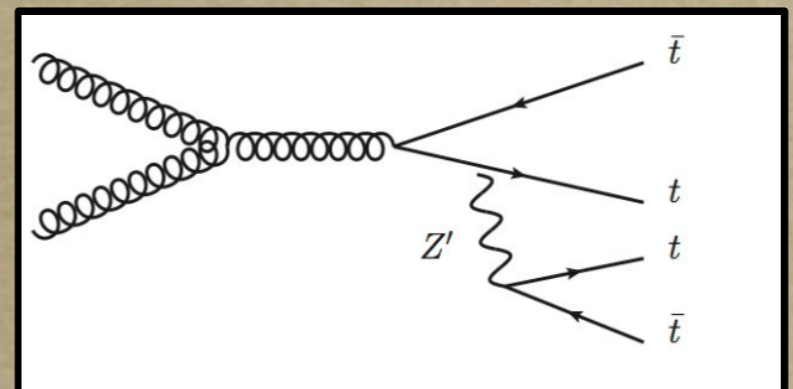
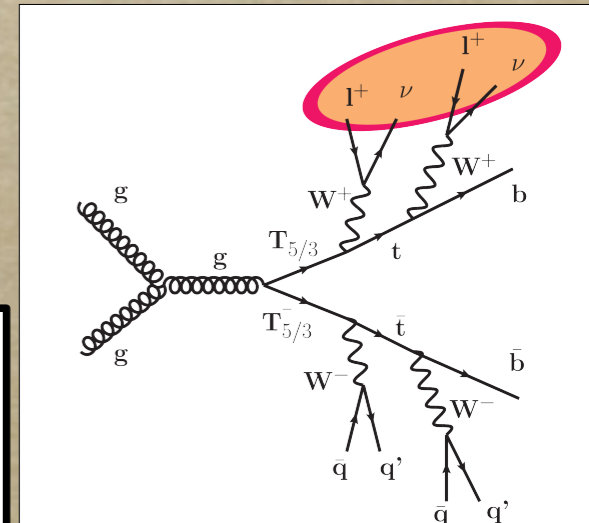
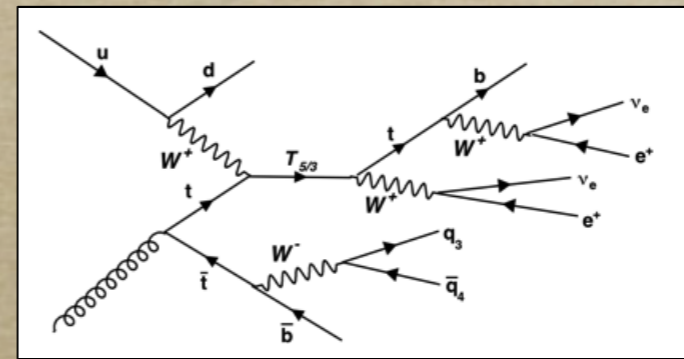
(du Modèle Standard !)

QUARKS	mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$
	charge →	2/3	2/3	2/3
	spin →	1/2	1/2	1/2
		u	c	t
		up	charm	top
		$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	-1/3	-1/3	-1/3	
	1/2	1/2	1/2	
	d	s	b	
	down	strange	bottom	

- **Pourquoi s'intéresser au quark top ?**
- particule la plus lourde observée
 - couplage privilégié au boson de Higgs et aux particules au-delà du modèle standard
 - le LHC est une « usine à tops »
 - « ajustement fin » de $m(\text{Higgs})$

Les modèles exotiques étudiés ici produisent des **états finaux avec des tops** ($ttWW$ - ttW - $tttt$).
 → bruit de fond principal vient de la production de paires de tops (tt)
 $250\text{pb} (ttbar)$ vs $21\text{fb} (VLQ)$ à 8 TeV

Les variables discriminantes sont donc le nombre de leptons puis le nombre de b

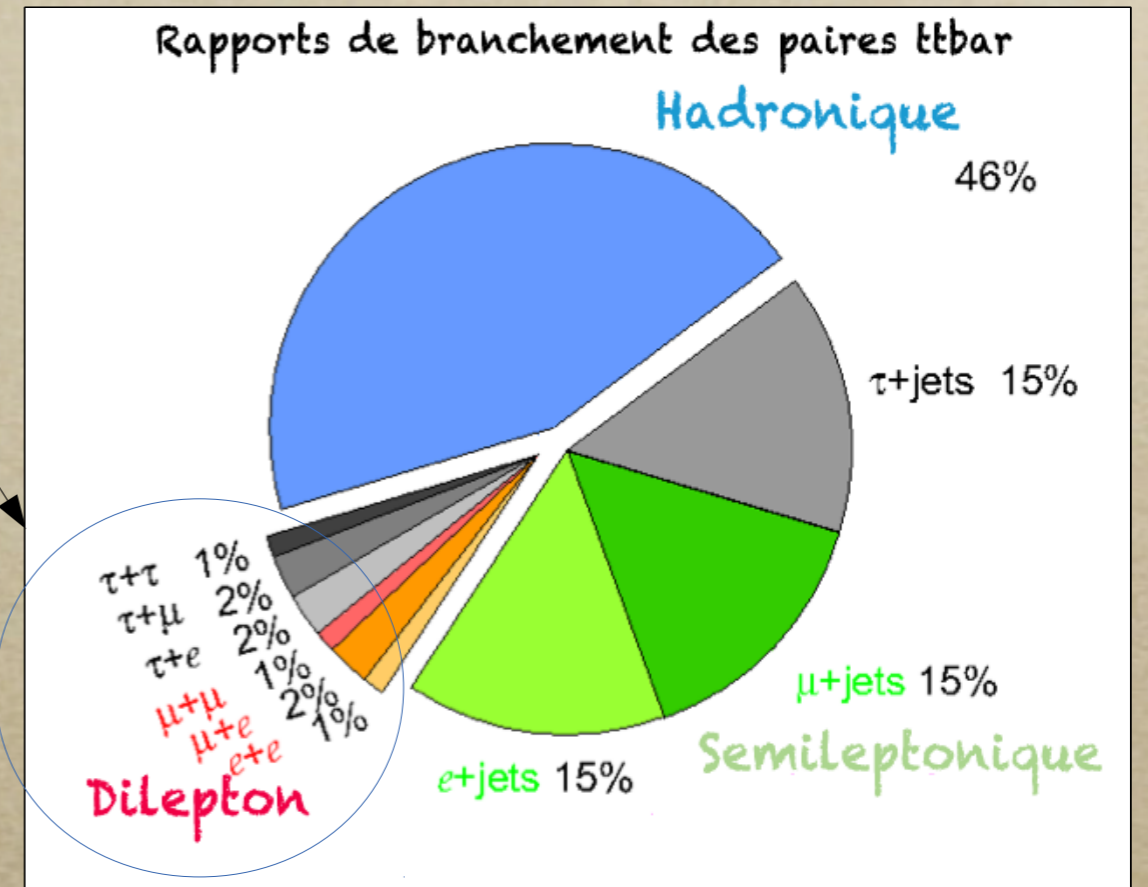
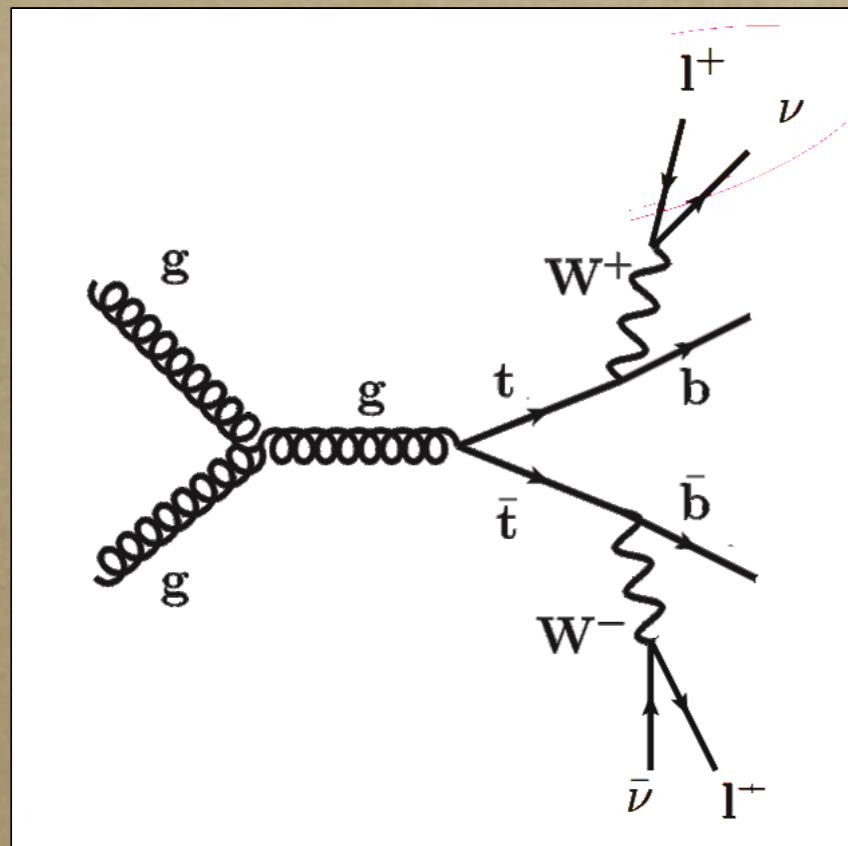


2 leptons de même signe

(5 millions de paires de top produites en 2012)

On se place dans le canal *dileptonique*

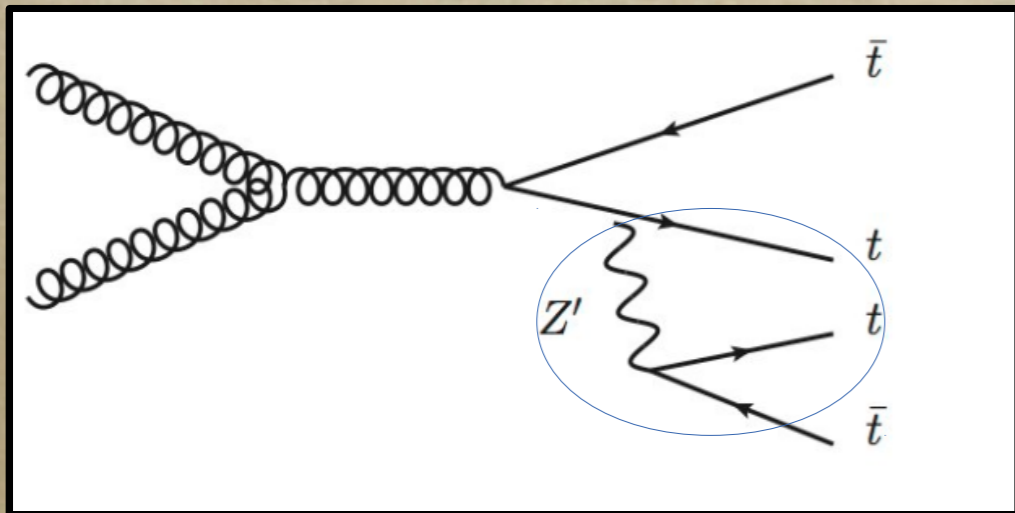
BUT : diminuer au maximum le nombre de paires de tops sélectionnées



Les modèles exotiques peuvent donner 2 leptons de même signe alors que les paires de top ne peuvent donner que deux signes opposés
→ **2 leptons de même signe est le canal parfait pour rechercher de la nouvelle physique**

Production d'une résonance Z' dans un processus très rare à 4 tops

~14 événements avec 4 tops dans l'état final attendus en 2012 ...



Modèle générique : ajout d'une contribution de la nouvelle physique (Z')

masse du Z' \leftrightarrow échelle d'énergie des nouvelles particules

Etude du potentiel de découverte avec les futures données à 14 TeV pour ce processus générique, avec un état final très complexe et surtout très rare.

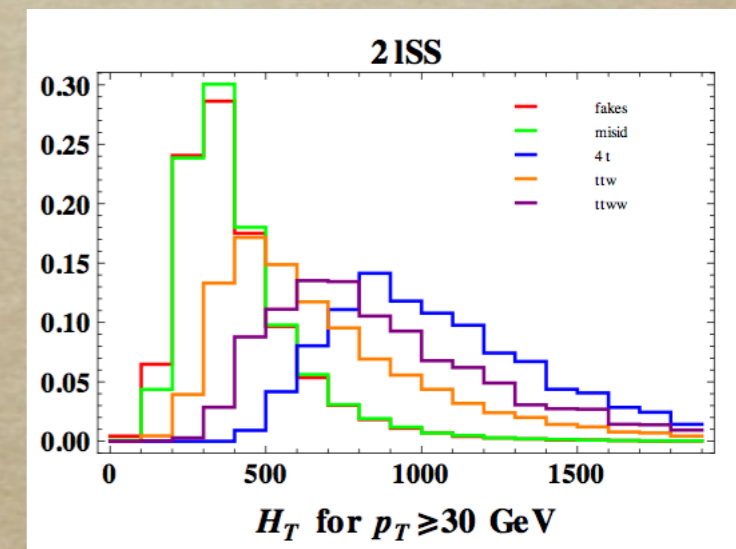
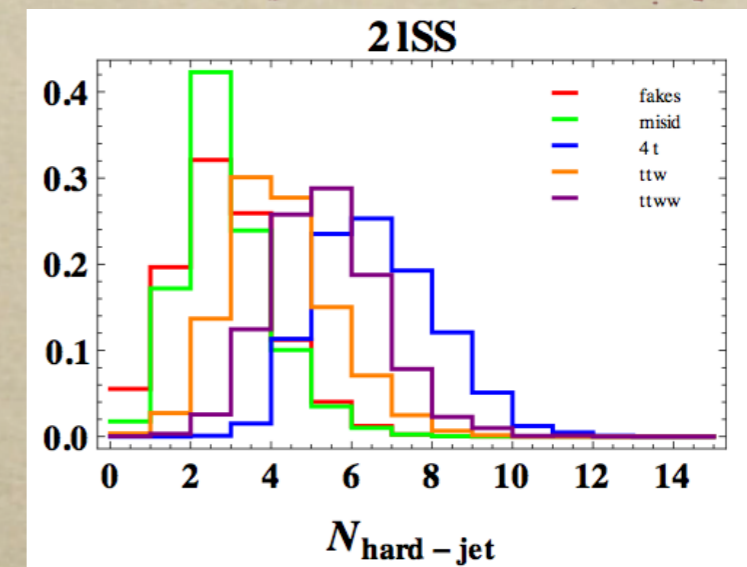
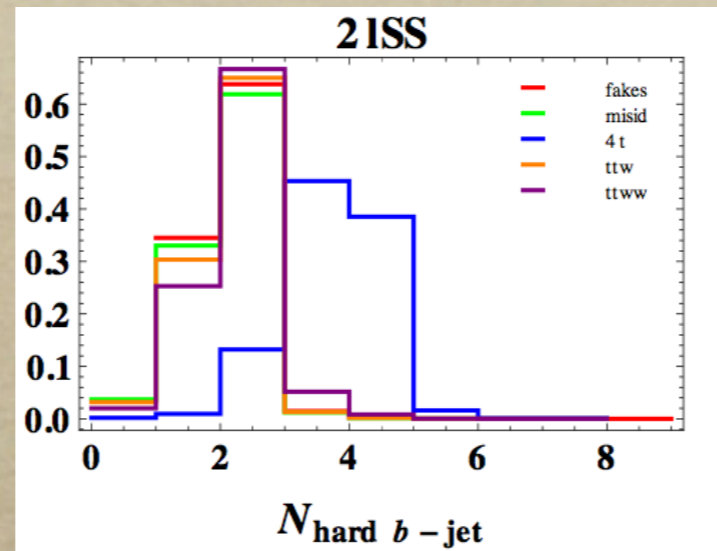
Bruits de fond considérés :

- Modèle standard (ttW, ttWW, WW, WWW)
- bruits instrumentaux (charge misid, fake lepton)

→ étude niveau générateur = que des simulations MonteCarlo

Production d'une résonance Z'

Sélection des événements optimisées avec des coupures sur le nombre de jets/bjets et sur H_T (somme des p_T)



	init	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5	SR6	SR7	SR8	SR9
Signal	71.2	44.8	44.2	42.5	36.7	27.2	23.4	44.2	32.5	27.8
$t\bar{t}$ mis-Id	8.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1
SM Irr	280.5	2.	1.8	1.6	1.1	0.7	0.5	1.5	1.	0.7
Fakes	769.3	295.1	206.2	153.2	83.2	49.2	34.	128.6	71.9	51.1
Tot. back.	1058.3	297.5	208.2	155.	84.4	50.	34.6	130.4	73.	52.
Significance	-	2.6	3.1	3.4	4.	3.9	4.	3.9	3.8	3.9

Yields + significance

	σ	N_S	N_B	L_{deco}
-	4.	36.7	84.4	15.7

Résultats : découverte d'une nouvelle physique à l'échelle du TeV dans ces événements au bout d'un an de prise de données ($\sim 15 \text{ fb}^{-1}$) à 14 TeV avec le détecteur ATLAS

Publication en cours de rédaction

Analyse des données d'ATLAS à 8 TeV

Search for anomalous production of trilepton and same-sign dilepton events associated with b -jets in 20.3 fb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector

D. Boumediene³, E. Busato³, D. Calvet³, S. Calvet³, E. Dubreuil³, S. Grancagnolo², R. Kukla⁴,
H. Lacker², X. Lei¹, R. Nayyar¹, F. O'Grady¹, D. Paredes³, D. Simon³, D. Sperlich², L.
Valéry³, E. Varnes¹

¹Department of Physics, University of Arizona, USA

²Institute of Physics, Humboldt University of Berlin, Germany

³LPC Clermont-Ferrand, CNRS/IN2P3, Université Blaise Pascal, France

⁴IRFU, CEA, Saclay, France

cf : CERN-PH-EP-2015-060,
arxiv:1504.04605 (paper)

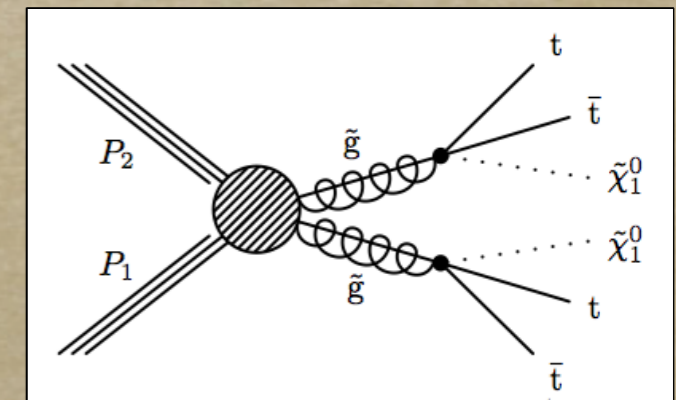
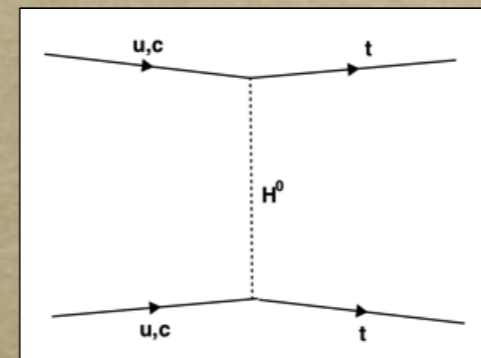
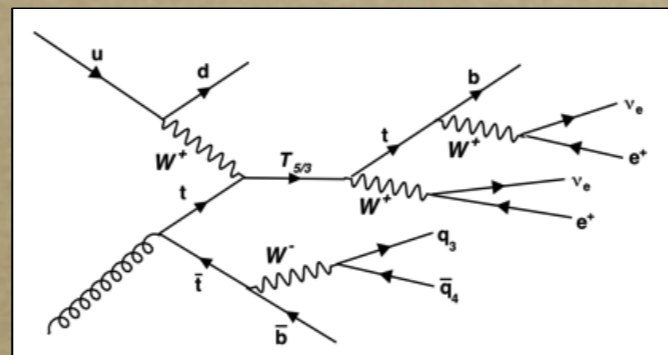
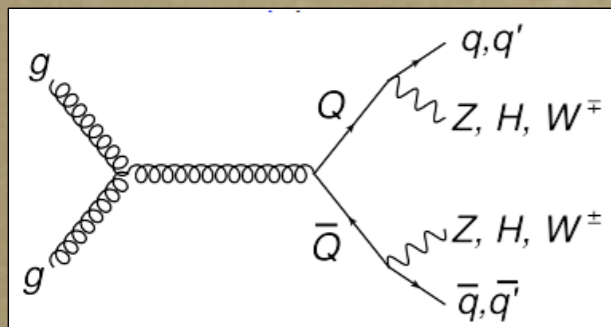
4 labos impliqués

20.3 ifb analysés

→ note interne + papier JHEP

On observe quelques excès

Recherche de modèles exotiques ayant une signature commune



VLQ (pair production) VLQ single production (here T5/3)

FCNC (tt)

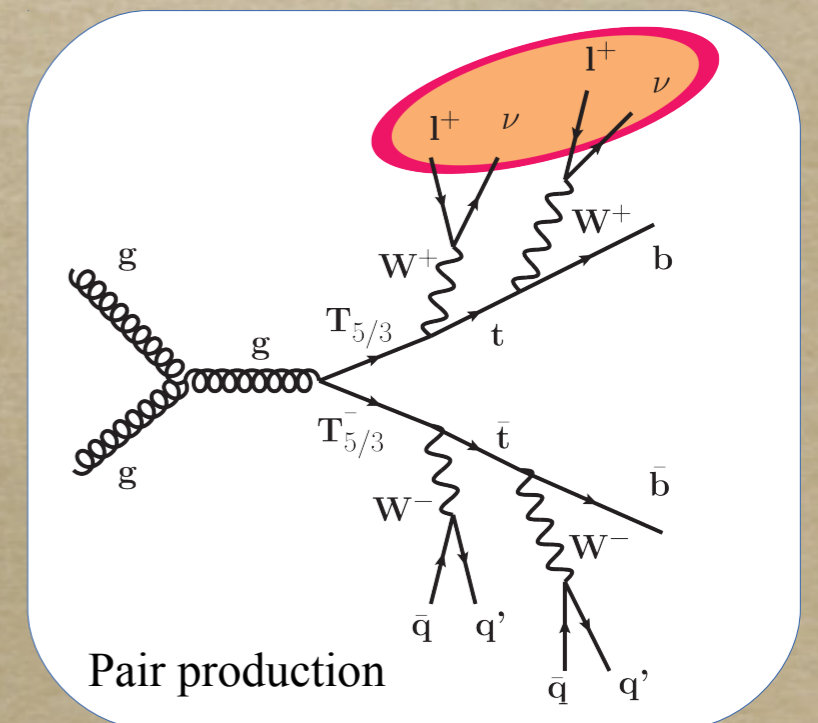
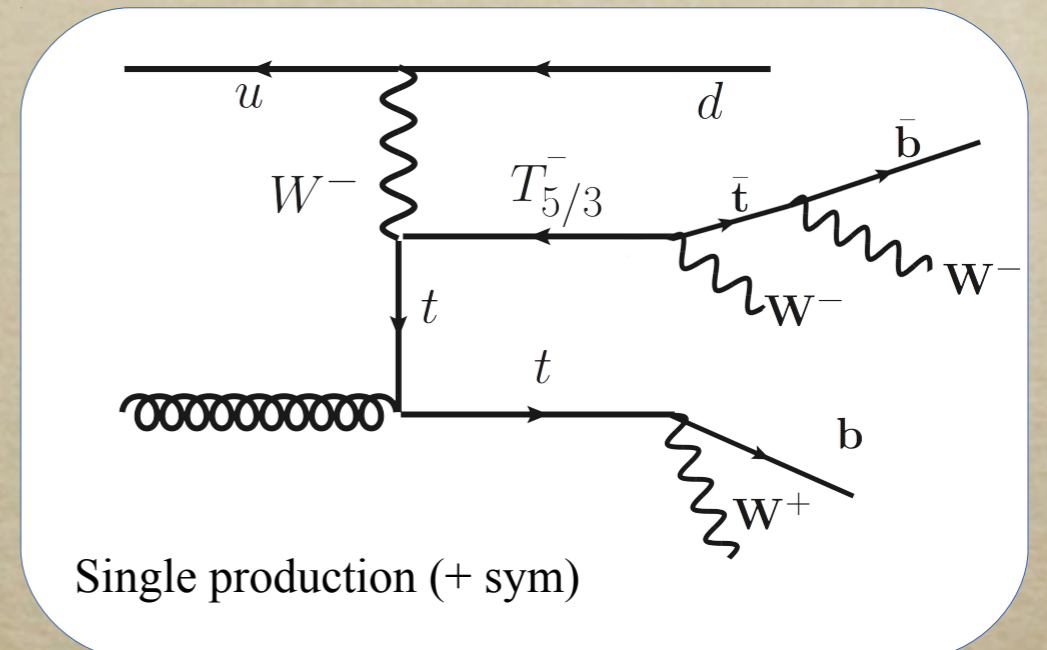
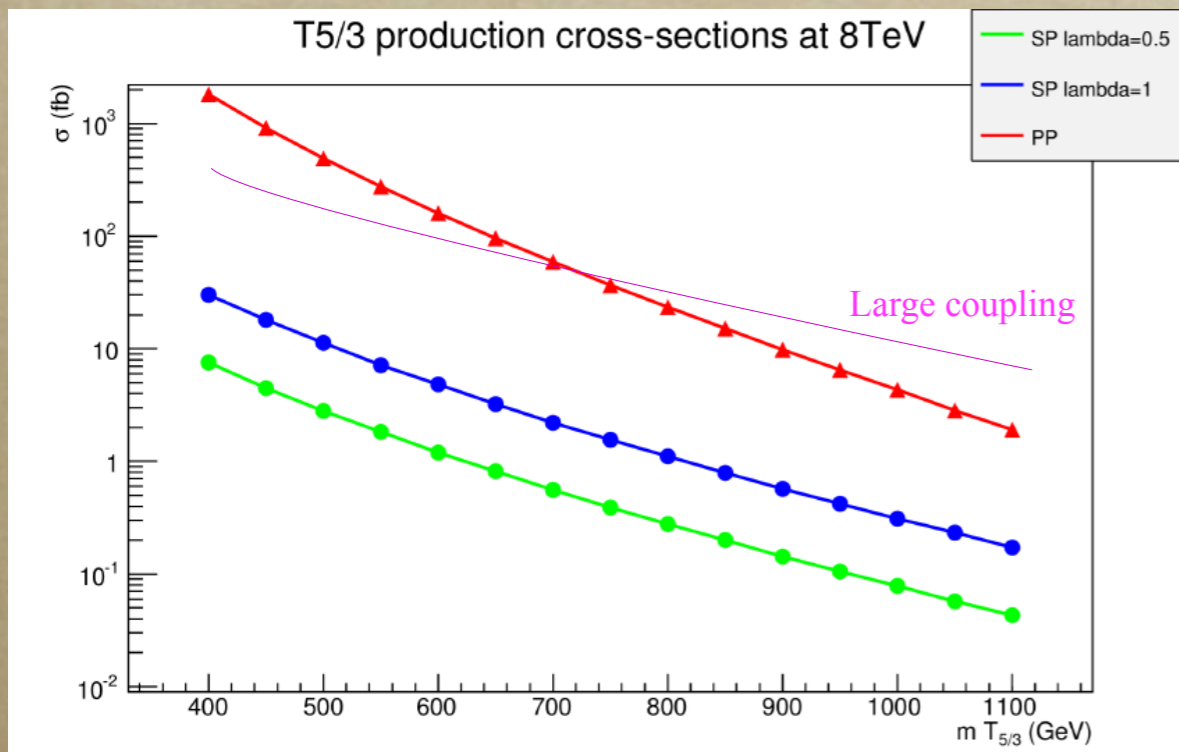
SUSY

etc ...

Analyse des données d'ATLAS à 8TeV

Modèle étudié à Saclay : top compositeness

Processus recherché moins rare car n'implique que 2 quarks top : partenaire ($T_{5/3}$) exotique du top de charge 5/3



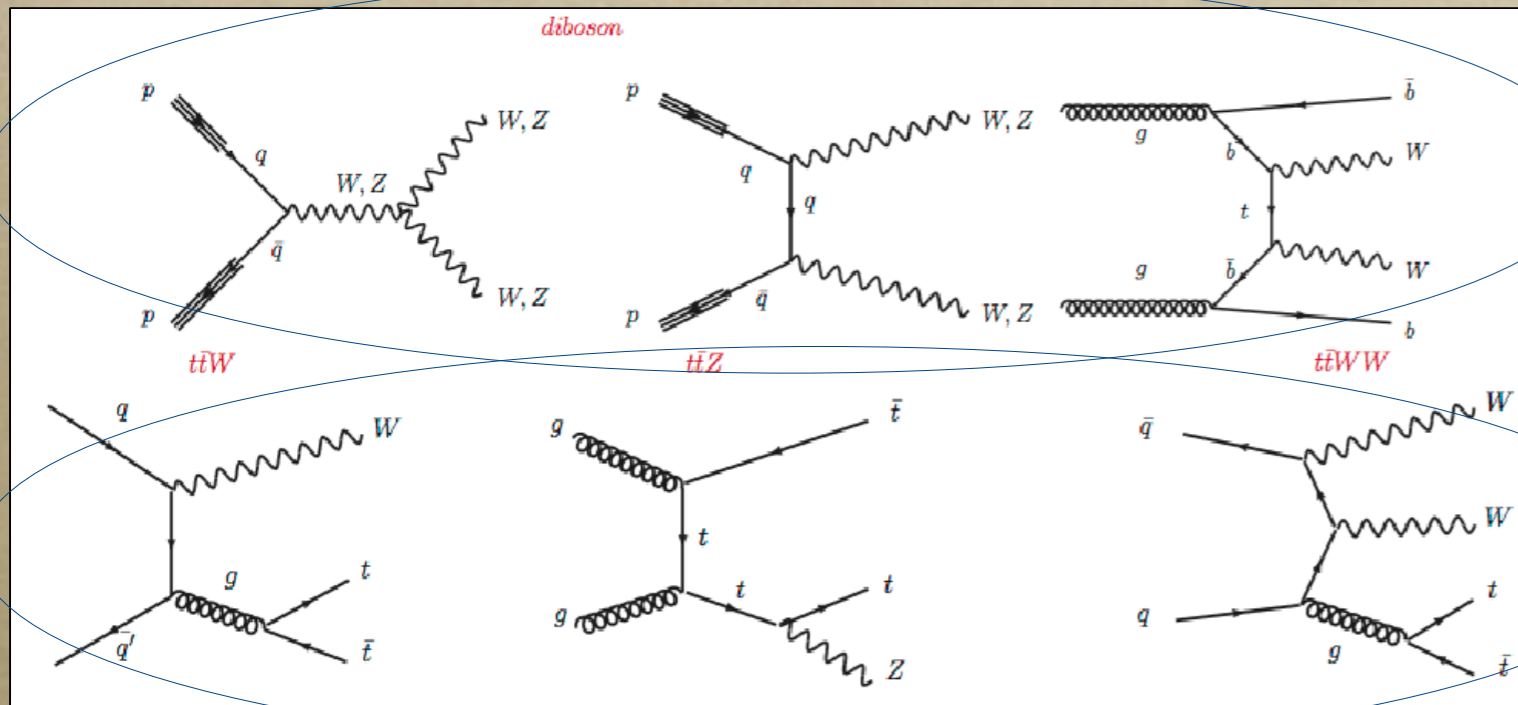
2 modes de production :

- en paire : dominant, ne dépend que de la masse
- simple : dépend de la puissance du couplage entre les deux secteurs

Analyse des données d'ATLAS à 8TeV

Bruits de fond

Processus SM avec un vrai état à 2 leptons de même signe



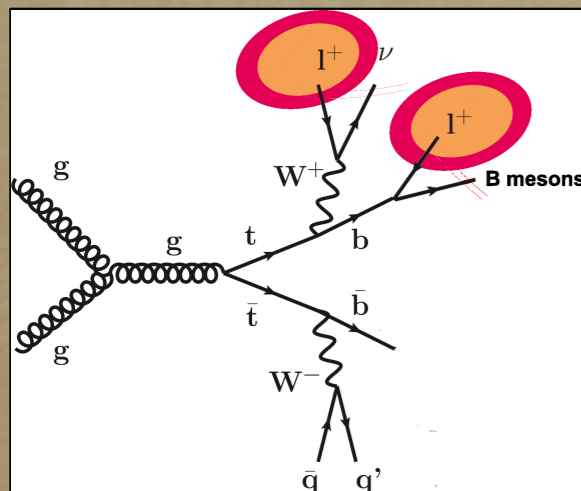
Dibosons ~ 10 pb

+ others :
 VVV ~ 10 fb
 VH ~ 100 fb
 ttH ~ 30 fb
 tV ~ 10 fb

ttV(V) ~ 400 fb

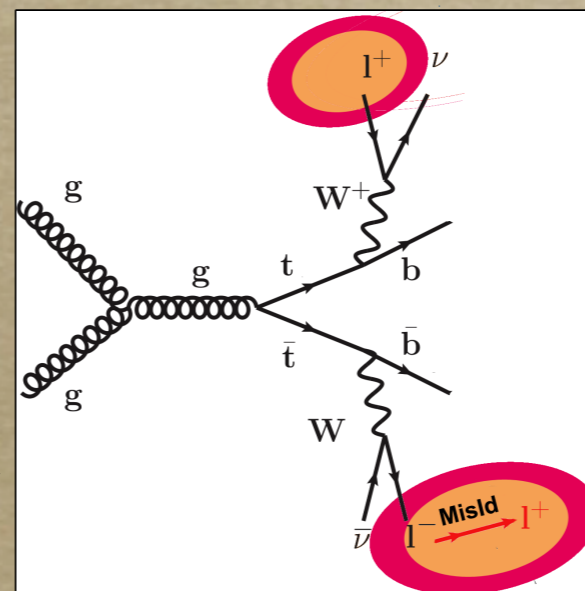
Simulations MC

Bruits instrumentaux



← Fakes/non-prompt
 (lepton identifié ne provient pas du processus)

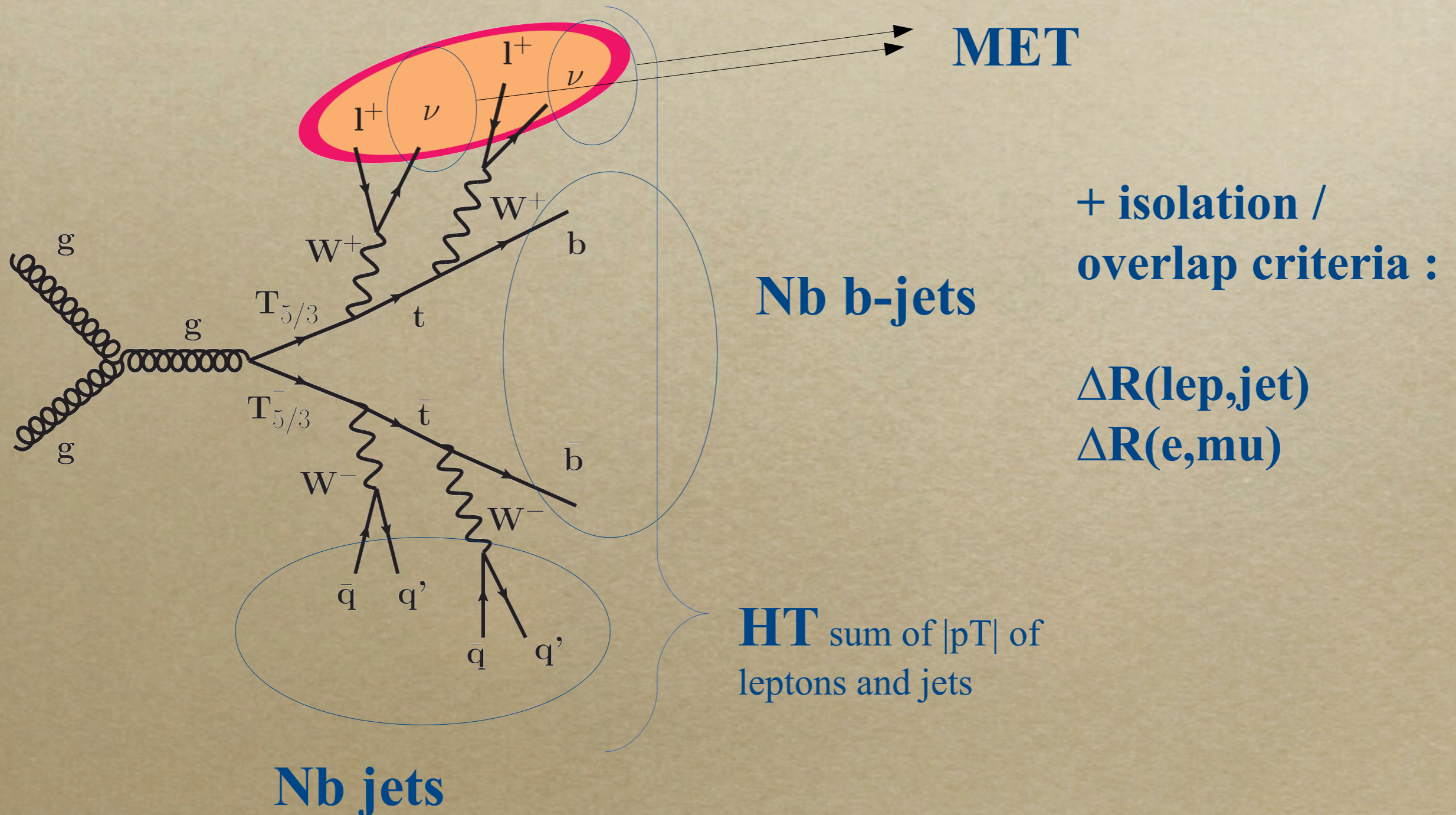
→ Mauvaise charge
 reconstruite des électrons



Extraits des données

Analyse des données d'ATLAS à 8TeV

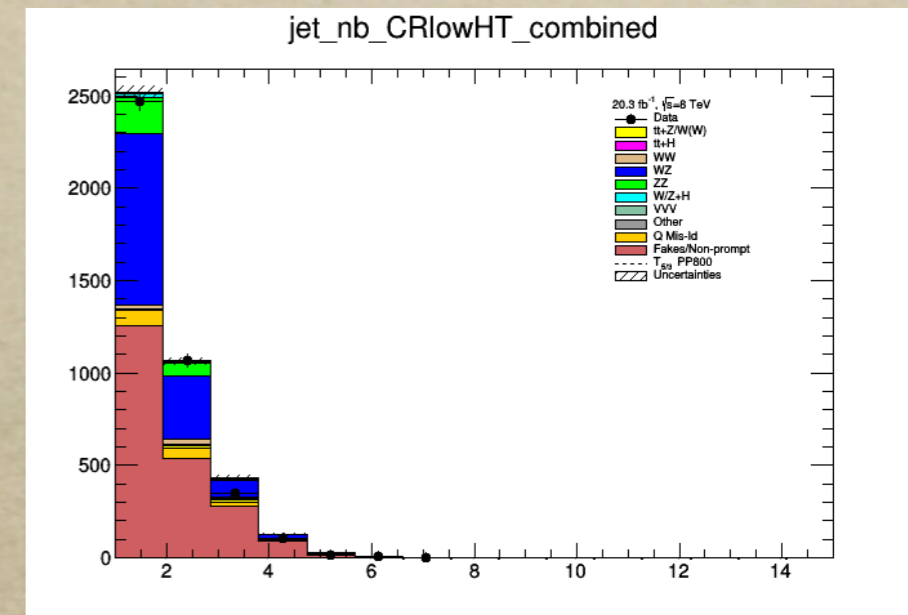
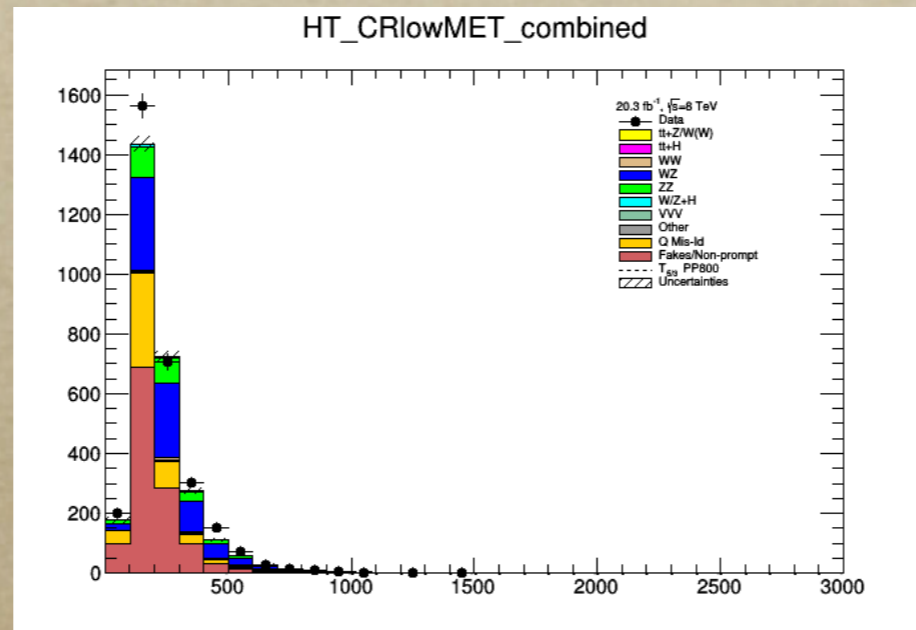
Variables de sélection



Analyse des données d'ATLAS à 8 TeV

Régions de contrôle ou de signal

Validation des méthodes d'extraction des bruits de fond sur des régions de contrôle



Puis définition de régions de signal orthogonales qui peuvent être combinées

Definition			Name		
$e^{\pm}e^{\pm} + e^{\pm}\mu^{\pm} + \mu^{\pm}\mu^{\pm} + eee + eee + eee + e\mu\mu + \mu\mu\mu, N_j \geq 2$					
$400 < H_T < 700 \text{ GeV}$	$N_b = 1$	$E_T^{\text{miss}} > 40 \text{ GeV}$	SRVLQ0		
	$N_b = 2$		SRVLQ1	SR4t0	
	$N_b \geq 3$		SRVLQ2	SR4t1	
$H_T \geq 700 \text{ GeV}$	$N_b = 1$	$E_T^{\text{miss}} > 40 \text{ GeV}$	$40 < E_T^{\text{miss}} < 100 \text{ GeV}$	SRVLQ3	
			$E_T^{\text{miss}} \geq 100 \text{ GeV}$	SRVLQ4	
	$N_b = 2$		$40 < E_T^{\text{miss}} < 100 \text{ GeV}$	SRVLQ5	SR4t2
			$E_T^{\text{miss}} \geq 100 \text{ GeV}$	SRVLQ6	SR4t3
	$N_b \geq 3$		$E_T^{\text{miss}} > 40 \text{ GeV}$	SRVLQ7	SR4t4

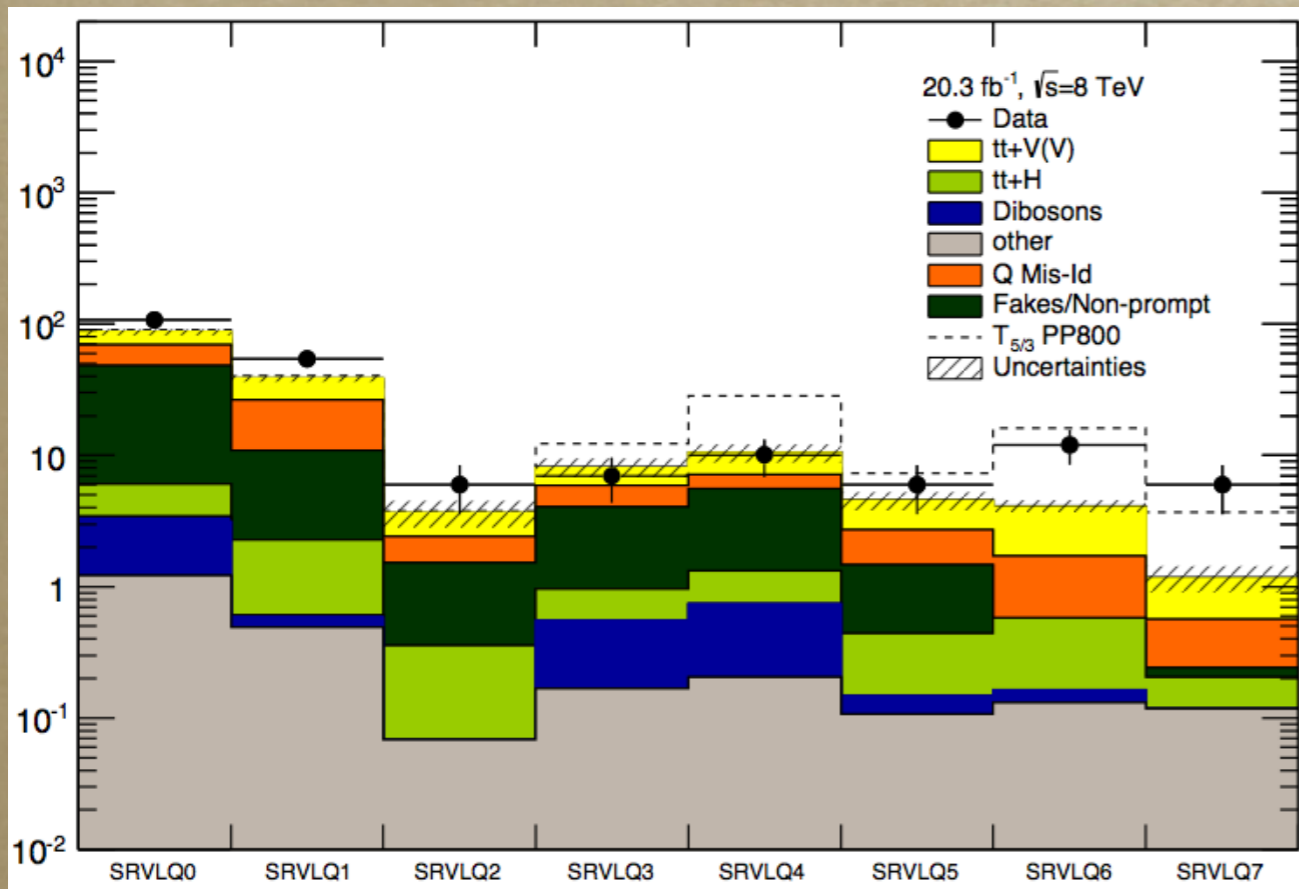
Analyse des données d'ATLAS à 8 TeV

Résultats

Nombre d'événements attendus pour chaque type de bruit de fond et pour chaque région de signal

TABLE 1 – Background yields in the signal regions. Uncertainties are statistical only.

	SRVLQ0	SRVLQ1	SRVLQ2	SRVLQ3	SRVLQ4	SRVLQ5	SRVLQ6	SRVLQ7
$t\bar{t}t$	0.02±0	0.04±0	0.03±0	0.01±0	0.03±0	0.02±0	0.05±0	0.09±0
$WZ - ZZ$	11.82±0.64	0.89±0.18	0.06±0.04	2.26±0.3	1.75±0.23	0.32±0.14	0.21±0.08	0±0
WW	1.85±0.09	0.09±0.02	0±0	0.37±0.04	0.57±0.05	0.03±0.01	0.03±0.01	0±0
$ttW - Z$	17.35±0.34	12.2±0.26	1.24±0.08	1.88±0.1	3.03±0.13	1.52±0.08	2.09±0.1	0.5±0.05
$t\bar{t}WW$	0.26±0	0.17±0	0.01±0	0.06±0	0.1±0	0.03±0	0.08±0	0.02±0
$t\bar{t}H$	2.43±0.1	1.59±0.07	0.24±0.03	0.38±0.04	0.52±0.05	0.26±0.03	0.41±0.04	0.07±0.01
VVV	0.02±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
VH	0.28±0.14	0.01±0.01	0±0	0±0	0.11±0.11	0±0	0±0	0±0
tX	1.14±0.03	0.45±0.01	0.03±0	0.14±0.01	0.16±0.01	0.08±0	0.07±0	0.01±0
<i>Fake</i>	42.12±4.52	8.6±2.34	1.16±0.82	3.08±1.28	4.23±1.59	1.02±0.66	-0.05±0.39	0.03±0.24
<i>Qmis - id</i>	21.16±0.74	15.68±0.57	0.87±0.12	1.84±0.22	1.56±0.16	1.24±0.16	1.19±0.14	0.32±0.09
Total	98.51±4.64	39.77±2.43	3.69±0.83	10.07±1.34	12.13±1.63	4.56±0.71	4.11±0.44	1.07±0.26



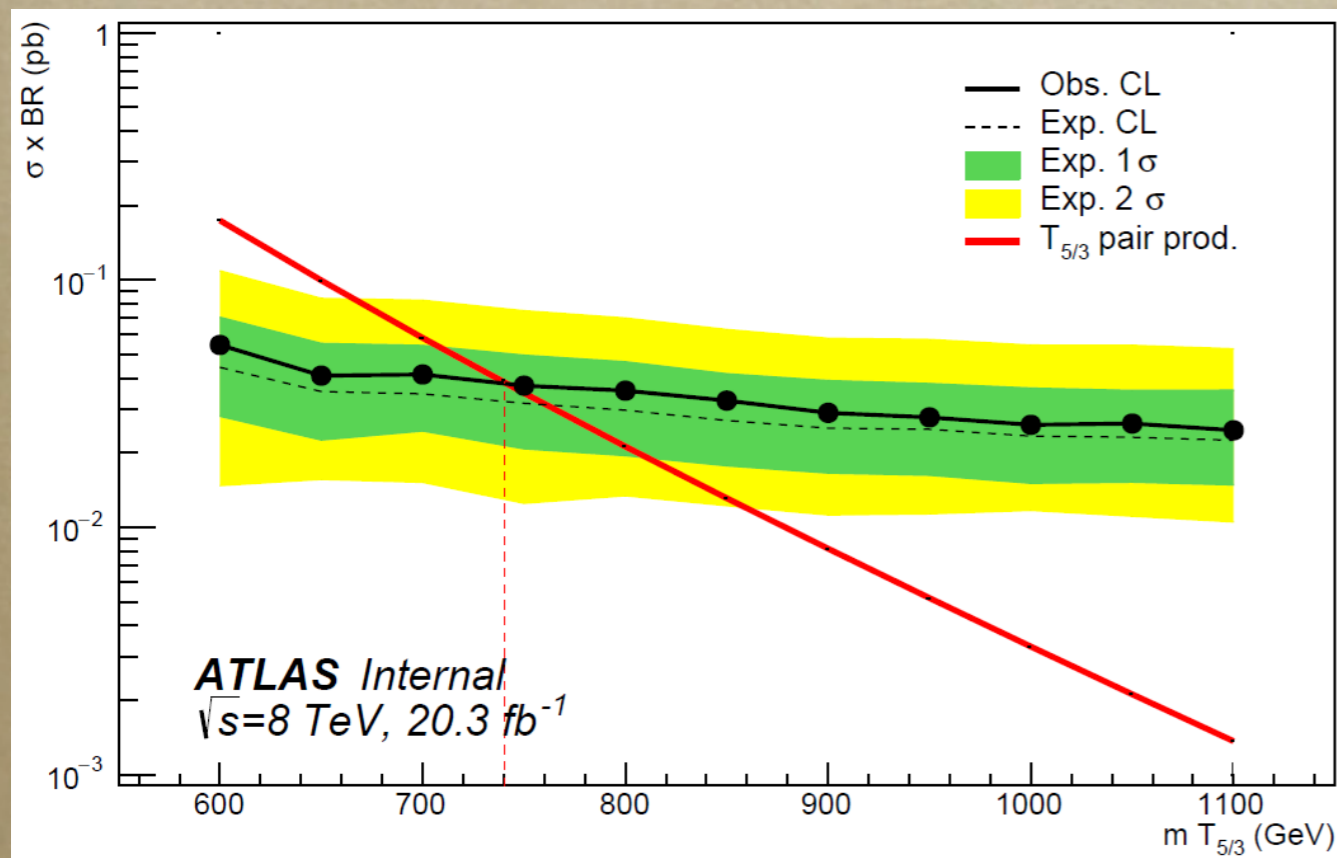
Dans plusieurs régions, le nombre observé d'événements dans les données est **plus élevé** que l'estimation du bruit de fond

excès de 2.5 selon signal
(dans l'hypothèse S+B)

Analyse des données d'ATLAS à 8 TeV

Interprétation statistique

Dans l'hypothèse que les données observées ne contiennent que du bruit MS, ces résultats peuvent s'interpréter en terme de limite basse sur le modèle.



J'ai exclu les particules de
masse < 745 GeV (~ 680 GeV en
2012 à 7 TeV avec 5 fb⁻¹)

Papier JHEP publié

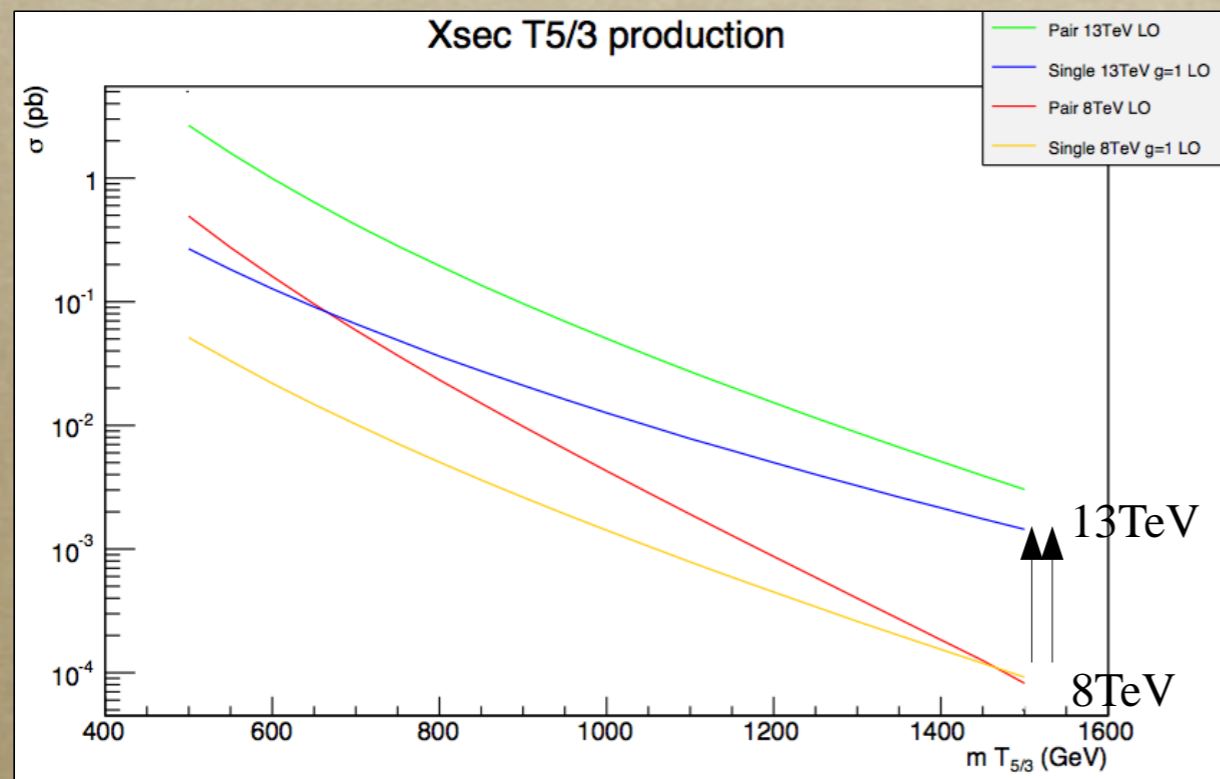
excès = limite observée $<$ limite attendue

Pour la production de paire de T5/3 : $m(T_{5/3}) < 0,74$ TeV

Pour paire+simple, $m(T_{5/3}) < 0,75$ TeV

Redémarrage du LHC à 13 TeV

Le LHC a recommencé à collisionner avec une énergie de 13 TeV début juin !



Plus d'énergie = section efficace plus grande

= plus d'événements de signal attendus

= potentiel de découverte augmenté
OU limites d'exclusion plus hautes

= nouveaux signaux rares détectables

On s'attend à exclure jusqu'à 900 GeV si mêmes bruits de fond instrumentaux
MAIS surtout : vérifier si l'excès est encore là !

Toutes premières données analysées (très peu de statistique encore)

Conclusions et perspectives

Etude instrumentale sur le calorimètre électromagnétique

- caractérisation de la LTDB prise en compte dans les futurs développements et améliorations
- présentée à la collaboration, note interne en rédaction

Etude phénoménologique du potentiel de découverte à 4 tops

- Découverte de résonance Z' de l'ordre du TeV à 14 TeV avec moins de 20 fb
- Extension de l'analyse aux 4tops standards, découverte pour moins de 300 fb
- Papier en rédaction

Analyse de données et recherche à 8TeV de partenaire exotique

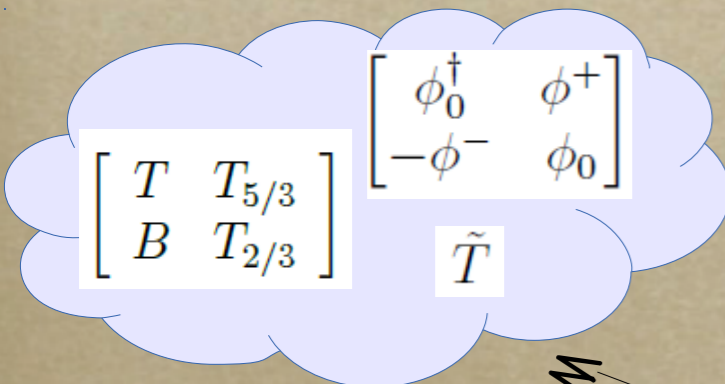
- Limite obtenue pour les productions de paire et simple : $m(T5/3) < 745$ GeV exclues
- Note interne rédigée, papier publié, résultats présentés à la communauté
- Préparation de l'analyse à 13 TeV (« very early analysis ») pour Moriond/été 2016

Backup

Modèle étudié à Saclay : top compositeness

'Partial compositeness' : modèle d'étude à 2 sites

Secteur exotique



Les deux secteurs se couplent par des termes de masse

$$\mathcal{L}_{yuk} = Y_* \sin\varphi_L \sin\varphi_R (\bar{t}_L \phi_0^\dagger t_R - \bar{b}_L \phi^- t_R) + Y_* \cos\varphi_L \sin\varphi_R (\tilde{T} \phi_0^\dagger t_R - \bar{B} \phi^- t_R) + Y_* \sin\varphi_L \cos\varphi_R (\bar{t}_L \phi_0^\dagger \tilde{T} - \bar{b}_L \phi^- \tilde{T}) + Y_* \sin\varphi_R (T_{5/3}^- \phi^+ t_R + T_{2/3}^- \phi_0 t_R) + F.L.$$

Higgs doublet \in secteur composite

\rightarrow Yukawa interaction via états composites

$$\hat{t}_L = \cos\phi_L \cdot t_L + \sin\phi_L \cdot T_L$$

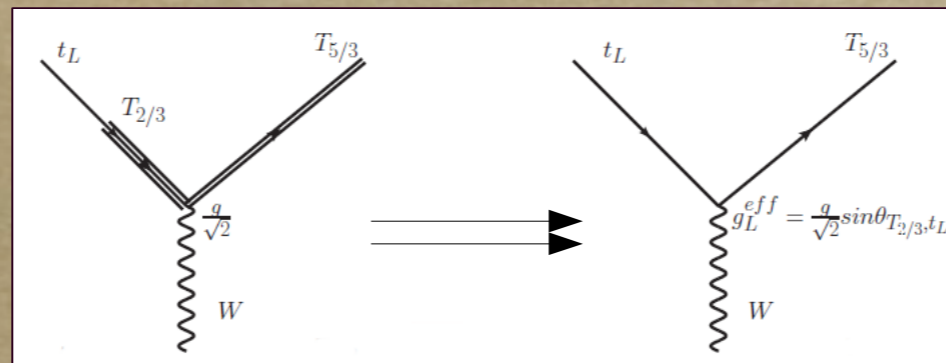
$$\hat{T}_L = -\sin\phi_L \cdot t_L + \cos\phi_L \cdot T_L$$

Massifs

SM

Composite

Etats massifs = mixing entre les états élémentaires du MS et les états composites



Secteur MS élémentaire

