

# La Physique du Quark Top dans les 1<sup>ères</sup> Données du LHC

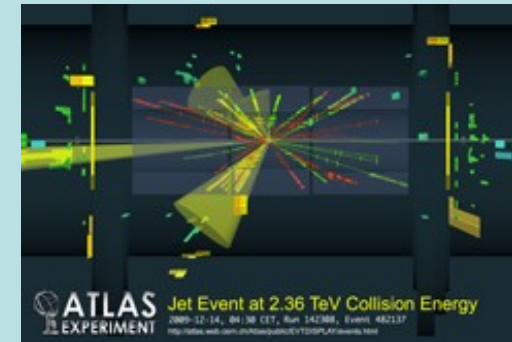
Séminaire LAPP– 05.03.09

Julien Donini, LPSC Grenoble

# (Re)démarrage du LHC

## 1<sup>ères</sup> collisions en 2009

Nov/dec: 900 GeV et 2.36 TeV,  $L \sim 10^{26} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



Energie nominale: 14 TeV,  $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

## Le LHC en 2010/11: montée en puissance progressive

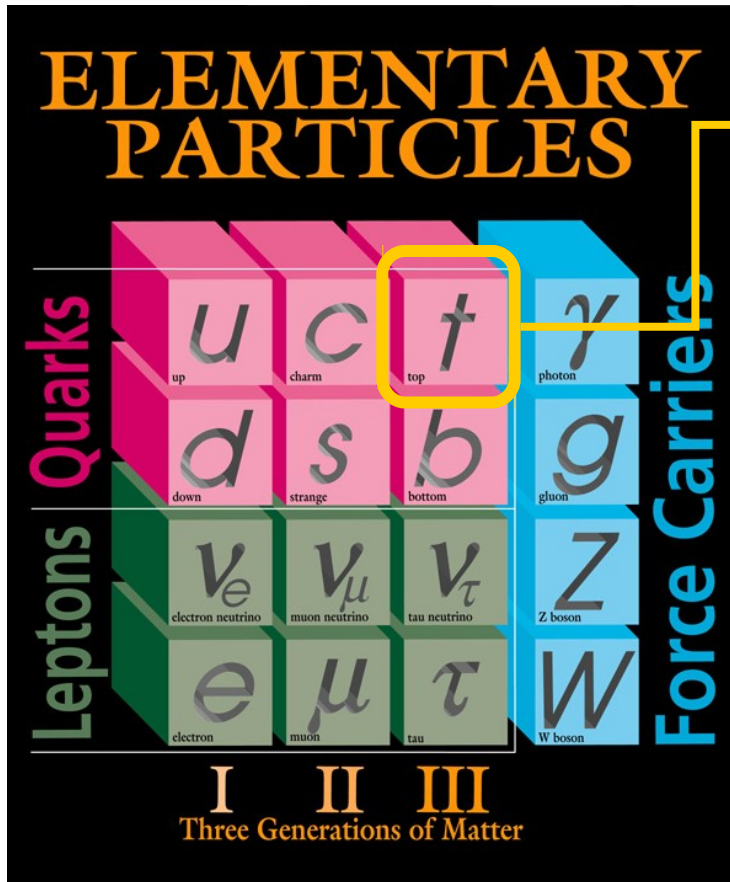
- en cours de redémarrage, long run de physique
- collisions 7 TeV, 2010  $\sim 0.2 \text{ fb}^{-1} \rightarrow \sim 1 \text{ fb}^{-1}$  fin 2011
- compréhension détecteurs, physique Modèle Standard (redécouverte quark top), quelques surprises (SUSY, physique exotique) ?

## 1) La nouvelle physique et le quark top

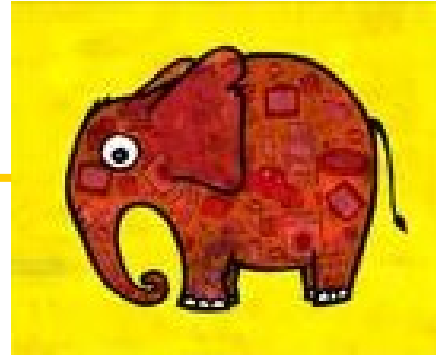
- La physique du quark top
- Lien avec la nouvelle physique

## 2) Mise en évidence du top dans ATLAS

- Objectifs et outils
- Stratégie et méthodes
- Perspectives pour les premières données (à h<sup>te</sup> énergie)
  - **Mesure sections efficaces top-antitop et single top**

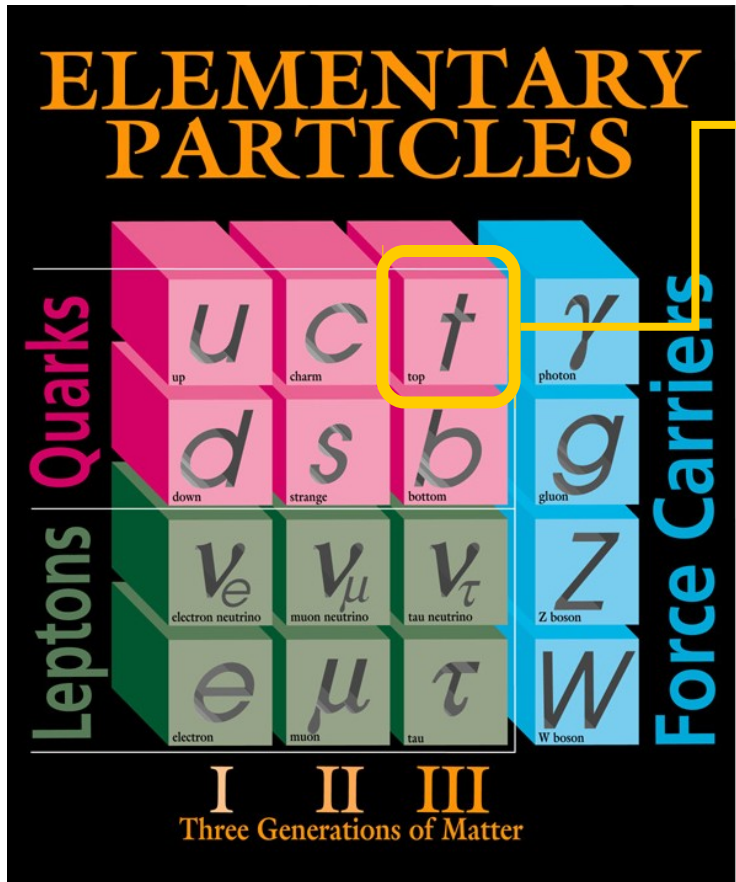


Fermilab 95-759

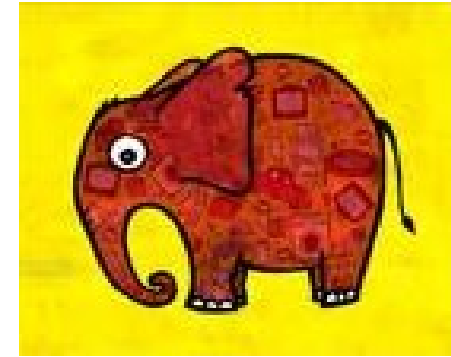
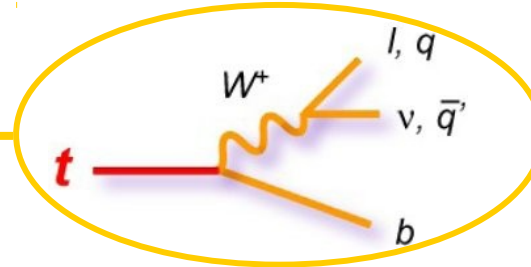


Masse très élevée  $\sim 173$  GeV: 40 fois la masse du quark b !

- pourquoi cette hiérarchie ?
- quel rôle joue le quark top dans mécanisme de Higgs ?
- quels liens avec la physique au-delà du Modèle Standard ?



Fermilab 95-759



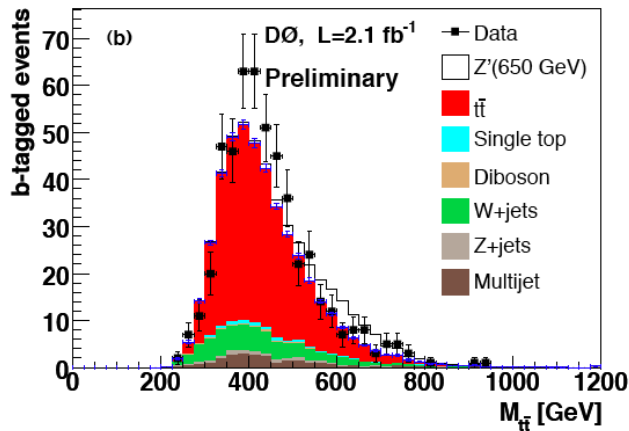
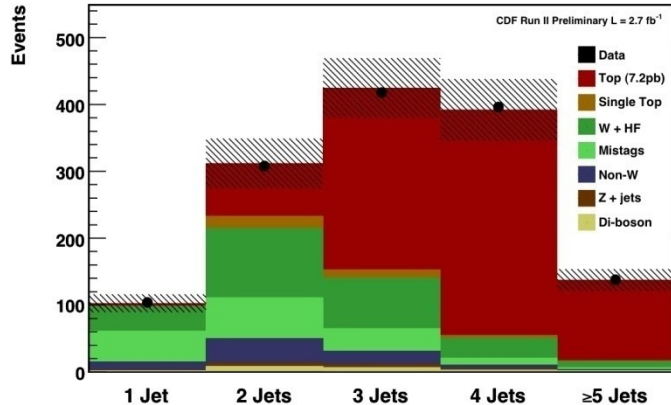
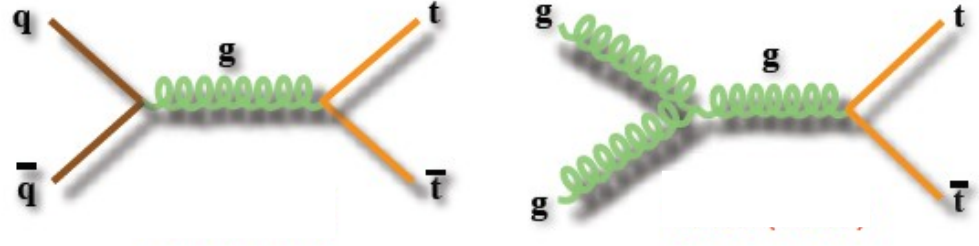
Le seul quark qui se désintègre avant hadronisation

- un moyen unique de sonder la physique électrofaible !

L'étude des propriétés du quark top permet de tester le Modèle Standard et de rechercher des signatures de nouvelle physique

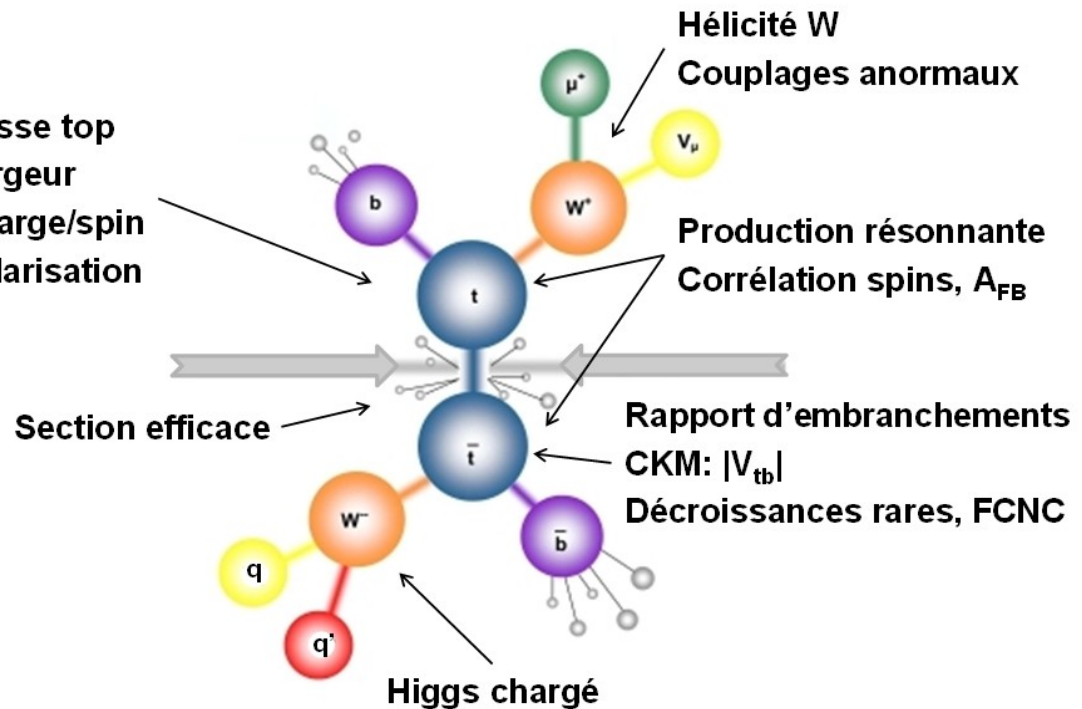
# Physique du quark top

Découverte 1995 au Tevatron  
Centaines de paires top-antitop  
étudiées depuis



Une physique très riche !

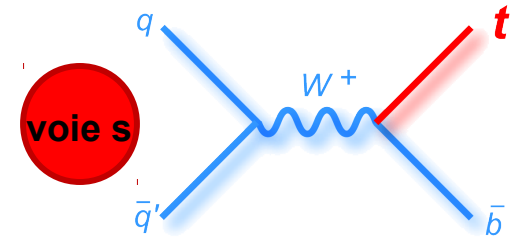
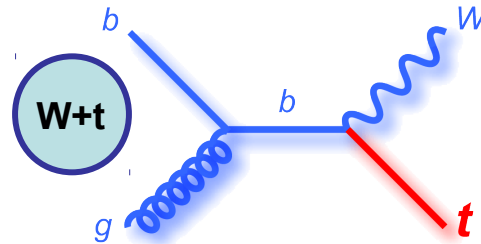
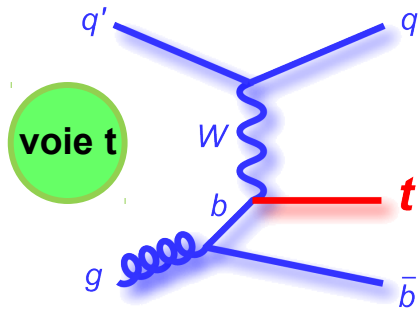
Masse top  
Largeur  
Charge/spin  
Polarisation



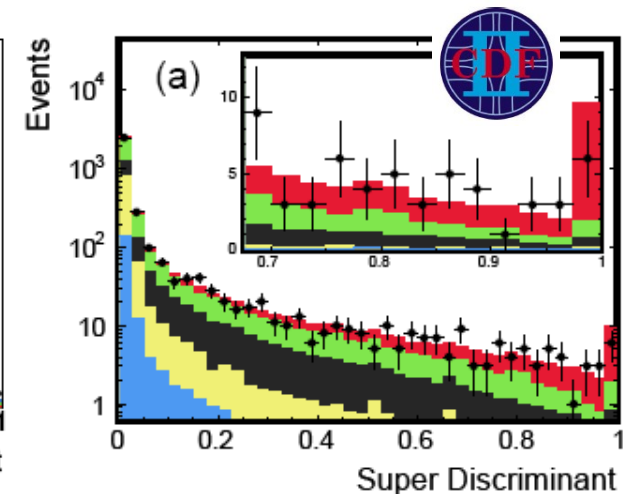
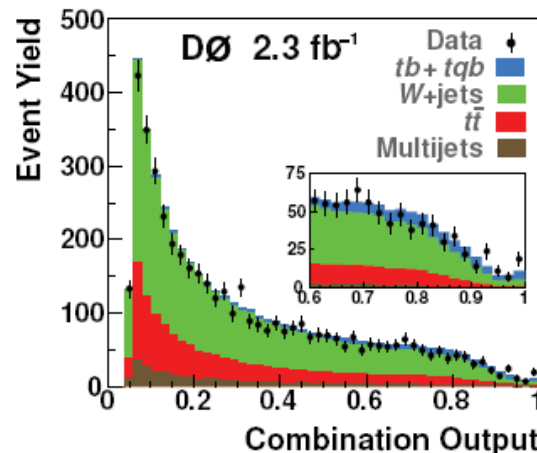
# Production électrofaible du quark top

- **Single top**

- Section efficace directement proportionnelle à  $|v_{tb}|^2$
- Sensible à toute nouvelle particule pouvant modifier le couplage faible du top

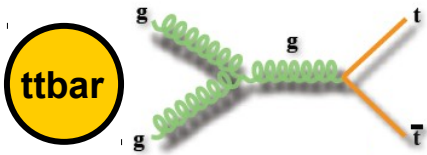
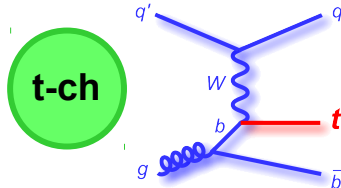
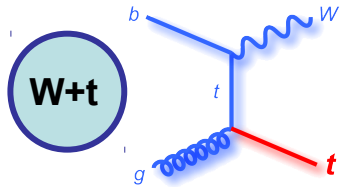
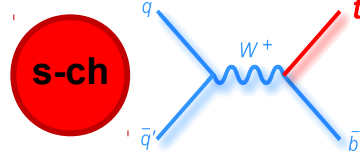


Observation voies s+t au  
Tevatron en 2009  
Signatures difficiles à  
mettre en évidence



- **Mais que sait-on du quark top (Tevatron) ?**
  - Masse:  $m_{\text{top}} = 173.1 \pm 1.3 \text{ GeV}/c^2$  (précision: 0.7% !)
  - Section efficace  $t\bar{t}$ : compatible MS, précision ~6%
  - Charge:  $Q=-4/3$  exclue à 95%CL
  - Single top:  $|V_{tb}| > 0.78$
  - Propriétés du quark top: plusieurs mesures, compatibles MS
  - ➔ Top quark très étudié, pas si connu que ça, nombreuses zones d'ombre dans lesquelles peuvent se cacher de nouveaux phénomènes

# Production du quark top au LHC

Processus	Section efficace (@10 TeV)
 <p><b>ttbar</b></p>	<b>400 pb</b> Bruit de fond relativement faible 2011: ~100k paires ttbar
 <p><b>t-ch</b></p>	<b>125 pb</b> Processus single top dominant qqe 100aines pb <sup>-1</sup> stat>Tevatron
 <p><b>W+t</b></p>	<b>33 pb</b> Visible seulement au LHC !
 <p><b>s-ch</b></p>	<b>7 pb</b> Signature très difficile ...

LHC: début d'une nouvelle ère dans la physique du top

➔ axe de recherche majeur, dès les premières collisions à h<sup>te</sup> énergie

## 1) La nouvelle physique et le quark top

- La physique du quark top
- **Lien avec la nouvelle physique**

## 2) Mise en évidence du top dans ATLAS

- Objectifs et outils
- Stratégie et méthodes
- Perspectives pour les premières données (à h<sup>te</sup> énergie)

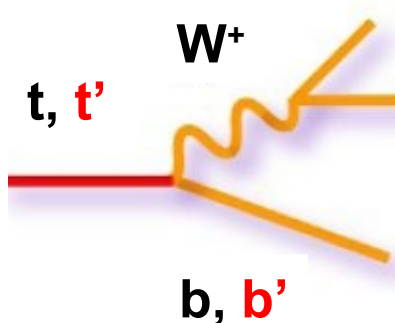
# Pourquoi une Nouvelle Physique ?

- **Physique au-delà du Modèle Standard**
  - Malgré 30 années de succès le MS est souvent considéré comme une théorie incomplète faisant partie d'une théorie plus globale
- **Raisons 'esthétiques' et philosophiques**
  - En particulier **problème de hiérarchie**
  - Contribution divergentes a la masse du boson de Higgs
    - Corrections dues au boucles: ex contribution top-antitop
    - Tuning des paramètres peu naturel
- **Raisons empiriques: le modèle est incomplet**
  - Matière non-baryonique: **matière 'noire'**
  - **Energie noire**: accélération de l'expansion de l'univers
  - Masse des **neutrinos**
  - Asymétrie **matière/antimatière**

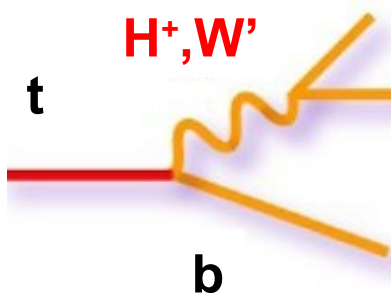
# Recherche d'une Nouvelle Physique

- **Etude du Quark Top**

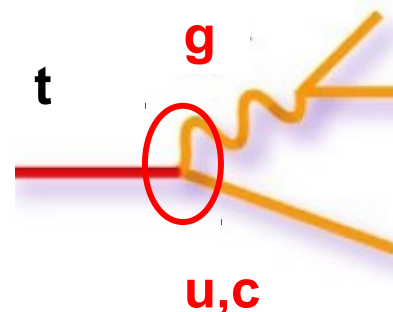
- Production et désintégration, polarisation, couplages, charge ...
- Déviation par rapport aux prédictions du MS ? apparition de phénomènes nouveaux ?



→ Quarks supplémentaires  
4<sup>ème</sup> génération



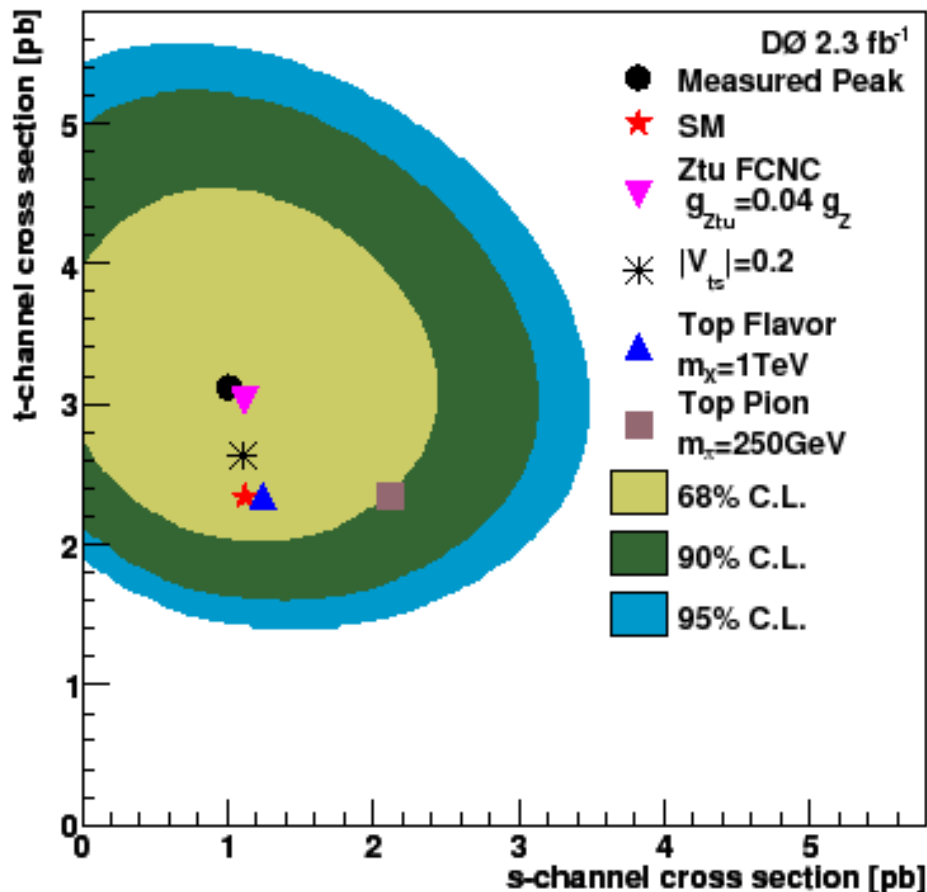
→ Nouveaux bosons



→ Couplages modifiés  
→ Polarisation anormale

# Single Top et Nouvelle Physique

- **Mesure des sections efficaces de chaque mode**
  - ➔ contraintes sur le modèle standard, tests de théories BSM



▼ **Couplages modifiés (BSM)**

FCNC:  $uq \rightarrow tq$

\* **Quarks de 4<sup>ème</sup> génération**

▲ **Nouveaux bosons de gauge**  
 $W', Z'$

■ **Nouveaux bosons scalaires**  
Composite top-pion:  $\pi \rightarrow tb$

# Exemple: 4<sup>ème</sup> Génération

- **Extension du Modèle standard**
  - N générations n'est pas fixé dans le MS (<9 limite QCD)
  - Hypothèse 4<sup>ème</sup> famille de quarks et de leptons
  - Extension 4x4 → matrice quarks CKM (PMNS pour les leptons)
- **Regain d'intérêt récent**
  - Limites  $V_{tb}$  Tevatron
  - Perspectives LHC

A 3D diagram showing a 4x4 matrix structure for quarks and leptons across four generations (I, II, III, IV). The vertical axis is labeled 'Quarks' and 'Leptons'. The horizontal axis is labeled I, II, III, IV. The matrix is divided into two sections: Quarks (top) and Leptons (bottom). The Quarks section contains the following elements: u, c, t, t' in the first row; d, s, b, b' in the second row. The Leptons section contains the following elements:  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\nu_\tau$ ,  $\nu'$  in the third row; e,  $\mu$ ,  $\tau$ ,  $\tau'$  in the fourth row.

	I	II	III	IV
Quarks	u	c	t	t'
	d	s	b	b'
Leptons	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	$\nu'$
	e	$\mu$	$\tau$	$\tau'$

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} & V_{ub'} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} & V_{cb'} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} & V_{tb'} \\ V_{t'd} & V_{t's} & V_{t'b} & V_{t'b'} \end{pmatrix}$$

➔ Workshop on Beyond 3 Generation Standard Model

<http://indico.cern.ch/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=68036>

➔ Four statements about 4th generation: <http://arxiv.org/abs/0904.4698v1>

# Pourquoi une 4<sup>ème</sup> Génération ?

- **SM4 pas (encore) exclu !**

- Fit des données électrofaibles et mesure des paramètres CKM laissent encore de la place pour une 4<sup>ème</sup> génération

Directly measured  
matrix elements  
including W-decays:

$$|V_{CKM}^{4 \times 4}| = \begin{pmatrix} 0.97418 & 0.2253 & 0.0043 & < 0.046 \\ 0.224 & 0.973 & 0.041 & < 0.20 \\ < 0.045 & < 0.125 & > 0.78 & < 0.63 \\ < 0.075 & < 0.21 & < 0.63 & > 0.78 \end{pmatrix}$$

Limits  
@  $\sim 2\sigma$

- **Éléments de réponses à des questions ouvertes**

- Asymétrie matière-antimatière univers (violation CP)
- Modèle alternatif brisure symétrie EW
- Candidats matière noire (neutrinos stériles, hadrons stable  $t'$ ,  $\mu'$ )

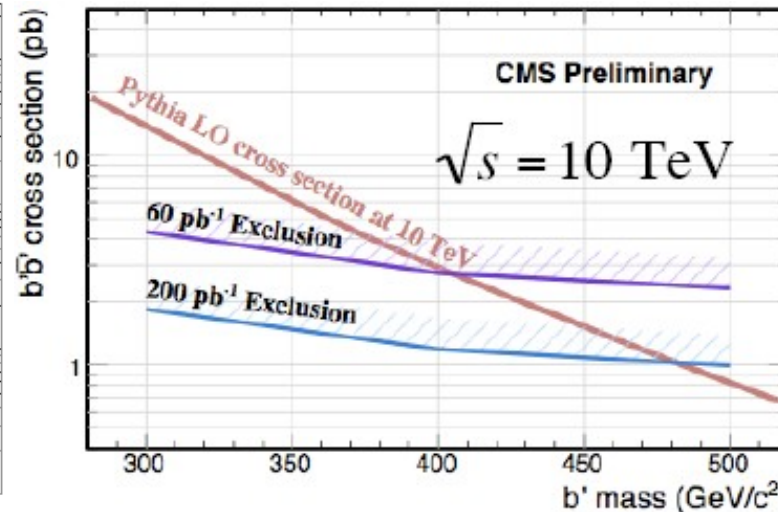
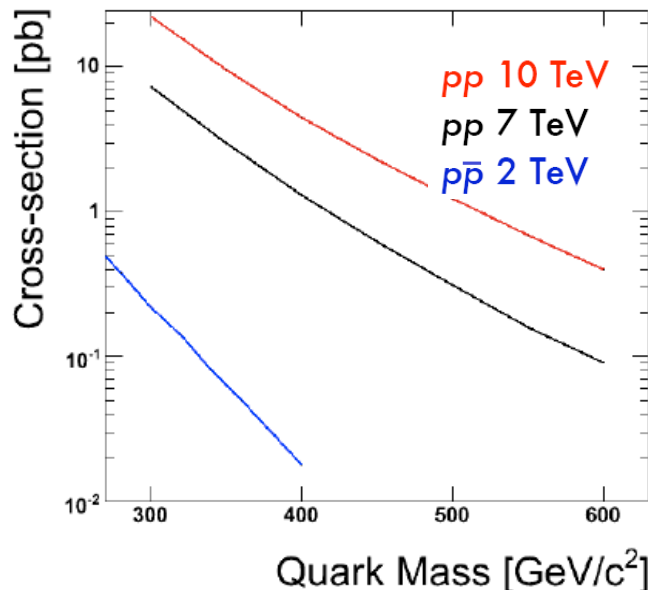
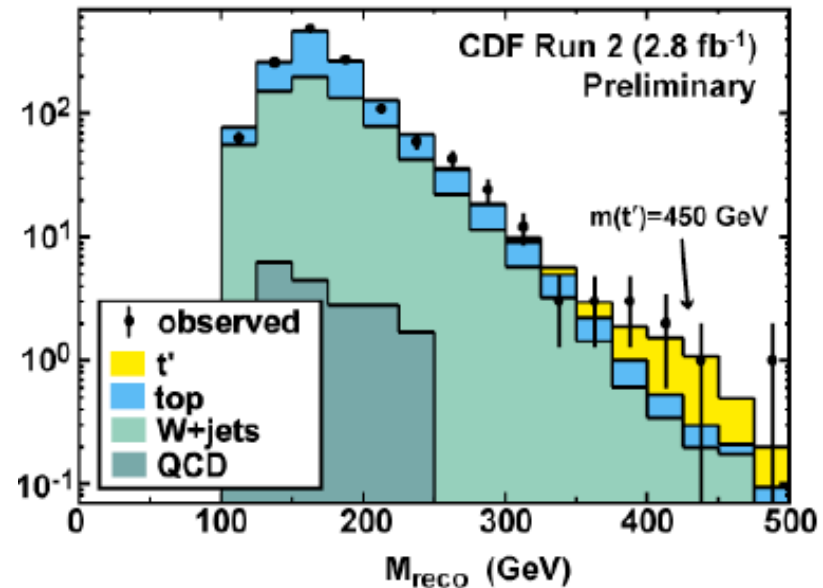
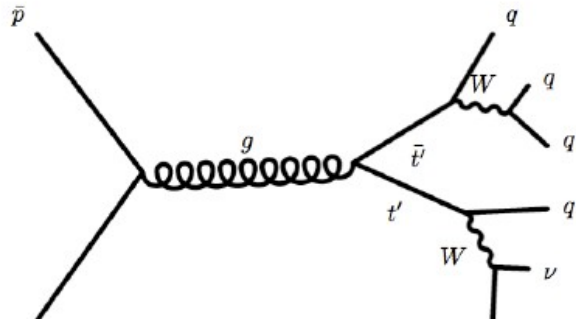
- **Le LHC est en mesure de trancher la question**

- Potentiel de découverte ou d'exclusion

# Recherche d'une 4<sup>ème</sup> Génération

- Recherche directes

- $b' \rightarrow Wt, m_{b'} > 338 \text{ GeV}$
- $t' \rightarrow Wb, m_{t'} > 311 \text{ GeV}$



$$b'\bar{b}' \rightarrow tWtW$$

$$\begin{cases} qq\bar{q}\bar{q}l^{\pm}\nu l^{\pm}\nu \\ qq\bar{l}^{\pm}\nu l^{\mp}\nu l^{\pm}\nu \end{cases}$$

Exclusion  $m_{b'} > 485$   
(405) GeV avec 200  
(60)  $\text{pb}^{-1}$

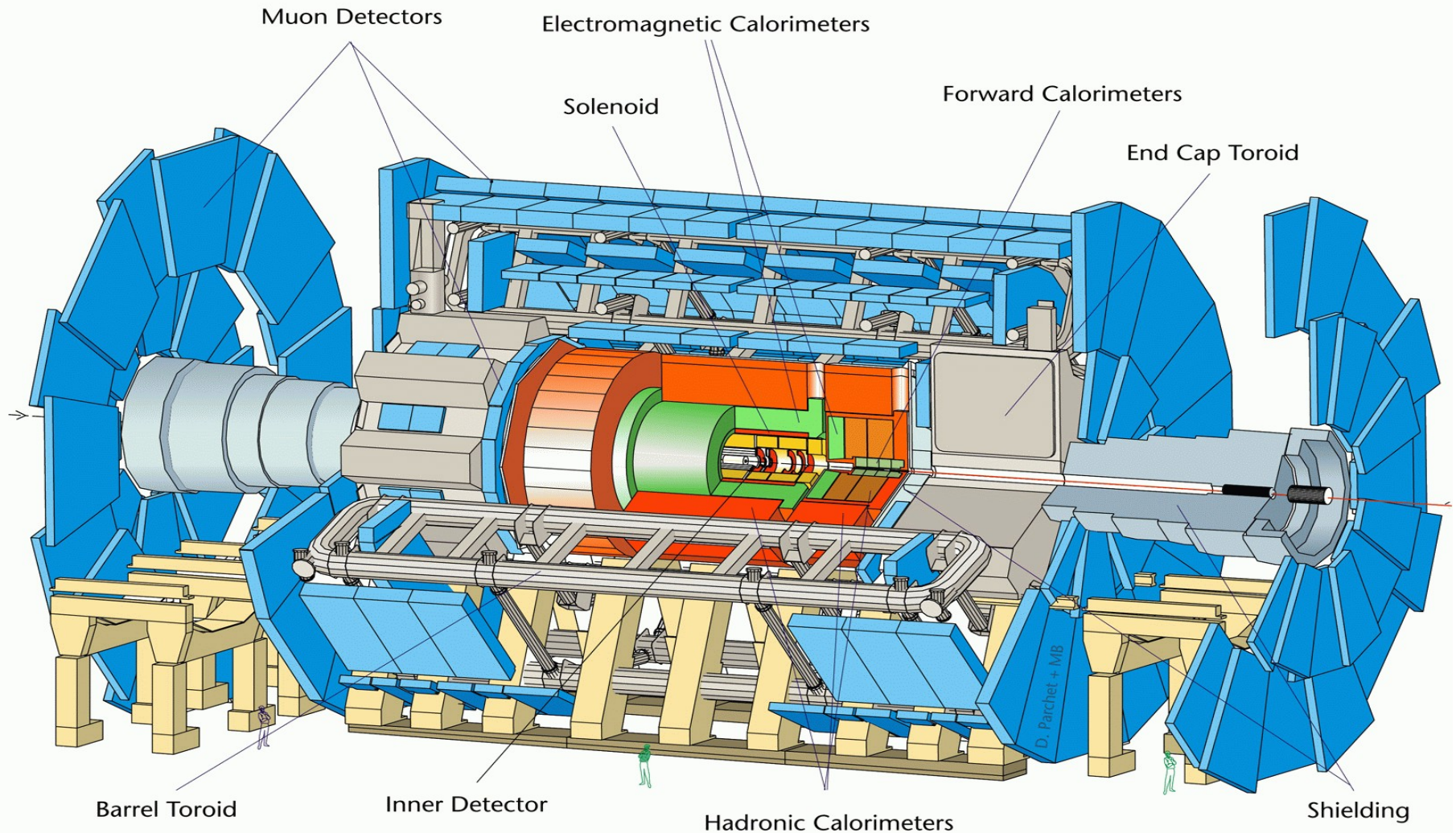
## 1) La nouvelle physique et le quark top

- La physique du quark top
- Lien avec la nouvelle physique

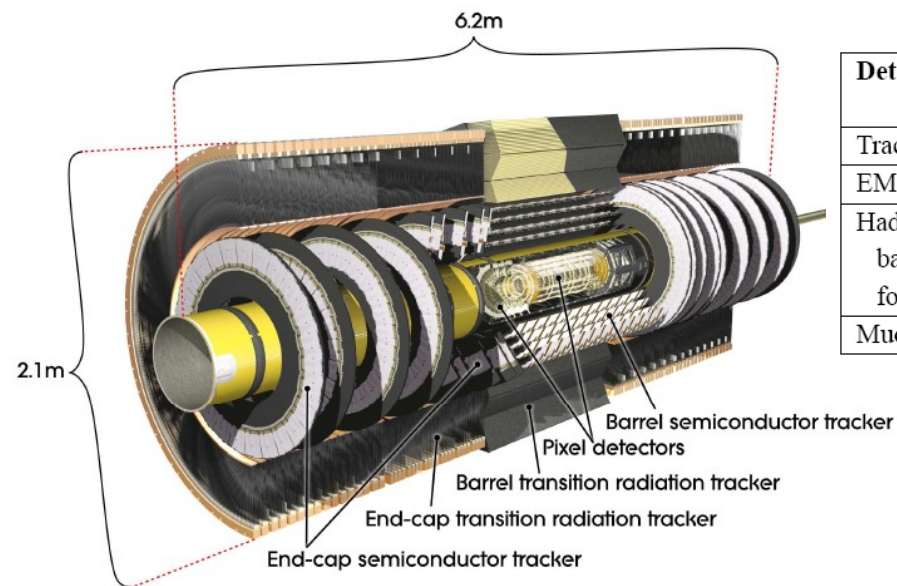
## 2) Mise en évidence du top dans ATLAS

- Objectifs et outils
- Stratégie et méthodes
- Perspectives pour les premières données (à h<sup>te</sup> énergie)

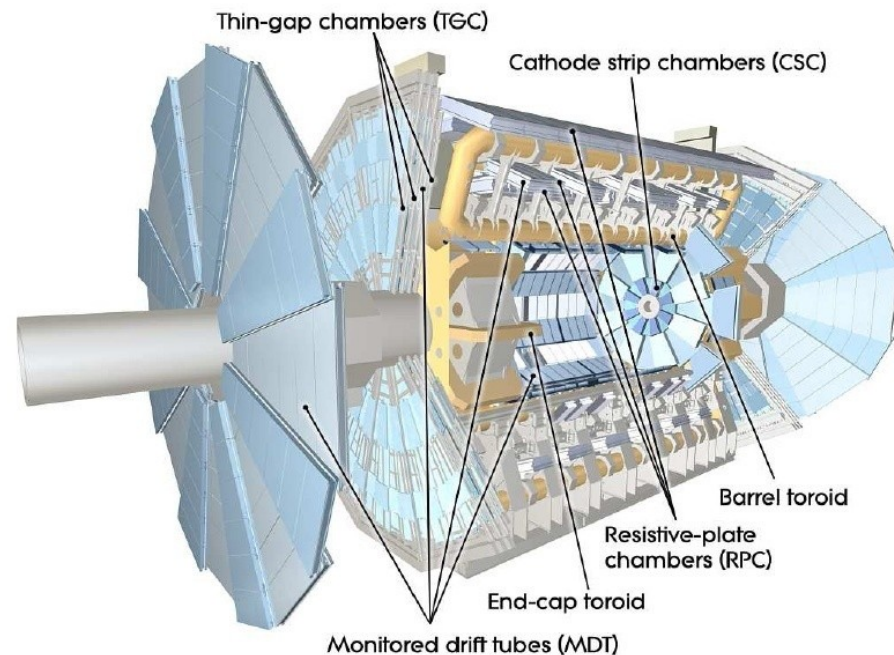
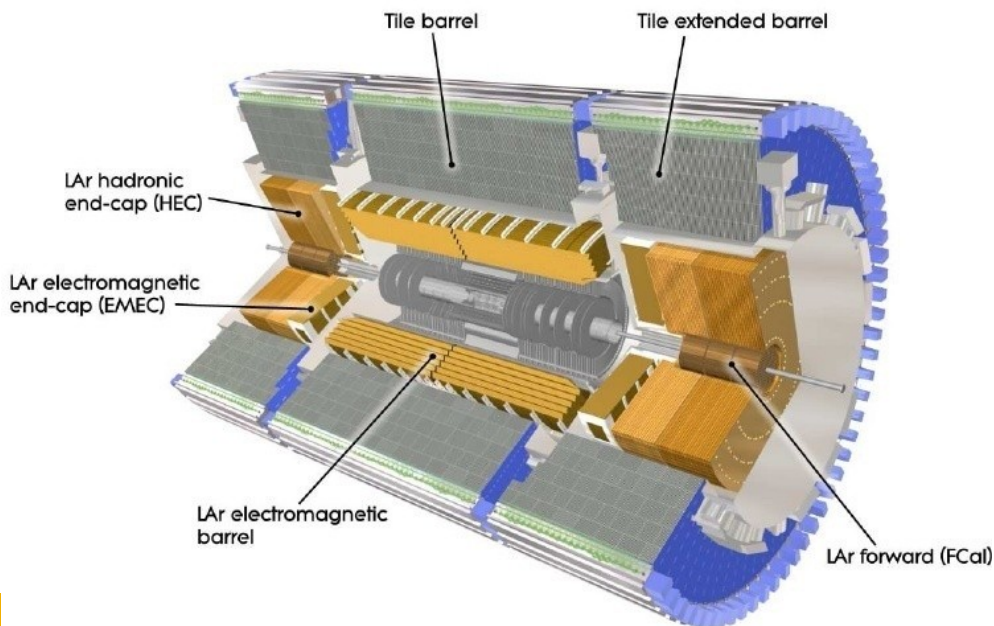
# Le Détecteur ATLAS au LHC



# Les Sous-détecteurs d'ATLAS



Detector component	Required resolution	$\eta$ coverage	
		Measurement	Trigger
Tracking	$\sigma_{p_T}/p_T = 0.05\% p_T \oplus 1\%$	$\pm 2.5$	
EM calorimetry	$\sigma_E/E = 10\%/\sqrt{E} \oplus 0.7\%$	$\pm 3.2$	$\pm 2.5$
Hadronic calorimetry (jets) barrel and end-cap forward	$\sigma_E/E = 50\%/\sqrt{E} \oplus 3\%$	$\pm 3.2$	$\pm 3.2$
	$\sigma_E/E = 100\%/\sqrt{E} \oplus 10\%$	$3.1 <  \eta  < 4.9$	$3.1 <  \eta  < 4.9$
Muon spectrometer	$\sigma_{p_T}/p_T = 10\%$ at $p_T = 1$ TeV	$\pm 2.7$	$\pm 2.4$



# Mise en évidence du quark top au LHC

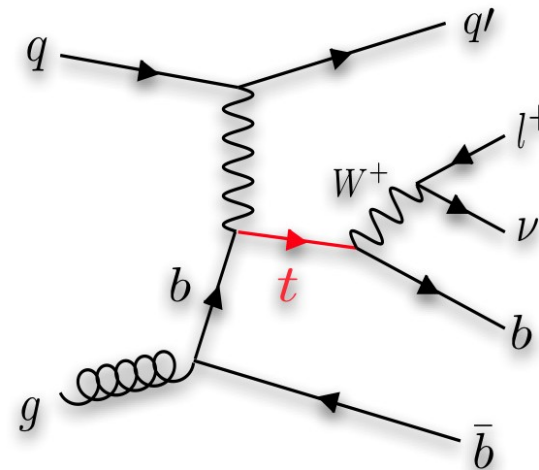
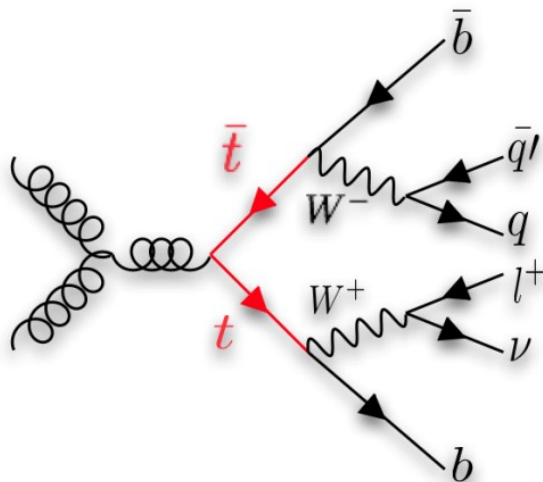
- **Paires top-antitop**

- "all jets" (46%): important bruit de fond, signature difficile
- dilepton (9%): signal clair, limité par la statistique
- lepton+jets (45%): compromis statistique/visibilité

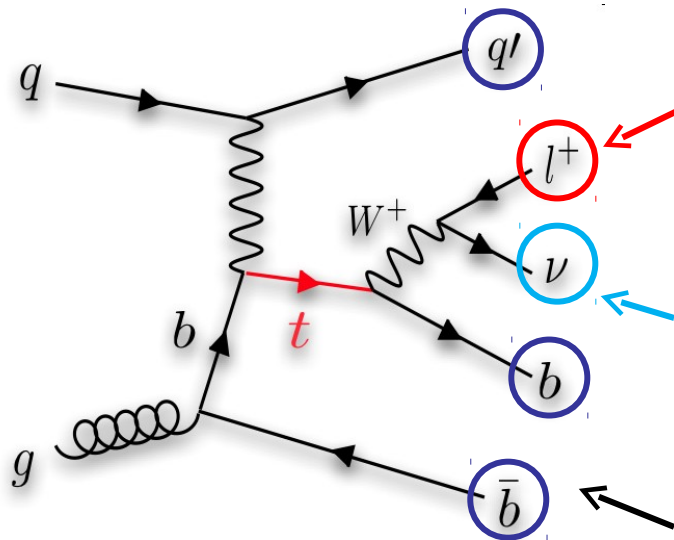
- **Single top**

- Voie t cherchée en premier dans le canal lepton +jets

➔ **L'ensemble des sous-détecteurs d'ATLAS est utilisé**



# Mise en évidence du quark top au LHC



Single top (voie t)

Trigger et identification leptons: tracker, calorimètres, chambres à muons

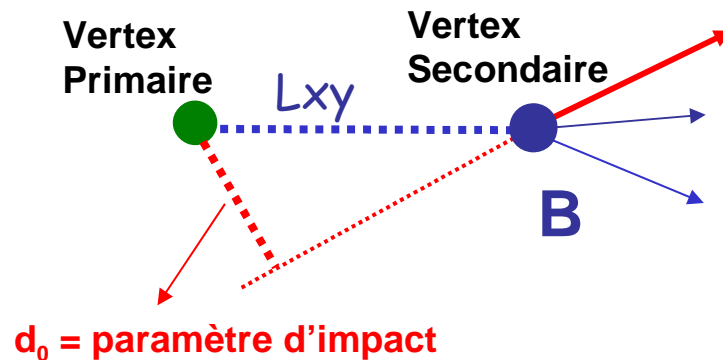
- $p_T(\text{lepton}) > 20 \text{ GeV}$

Énergie manquante: calorimètres (+ corrections)

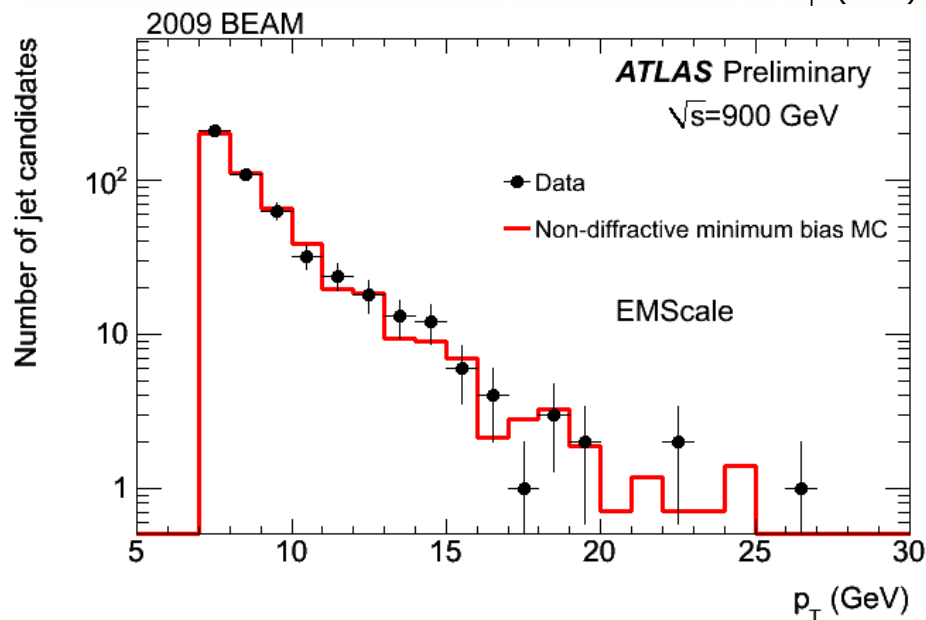
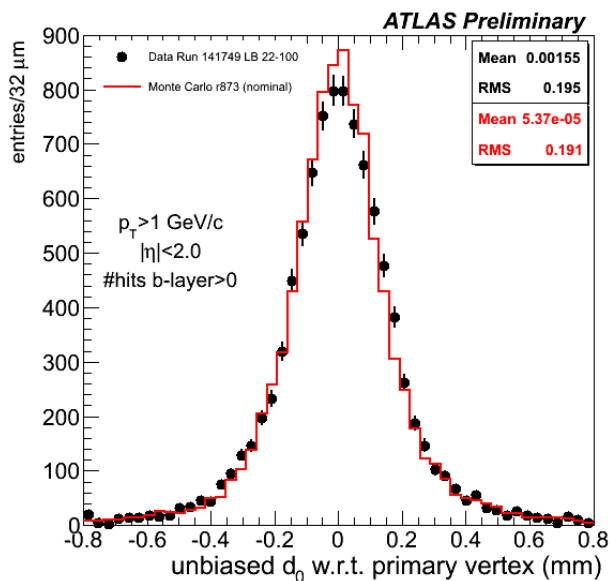
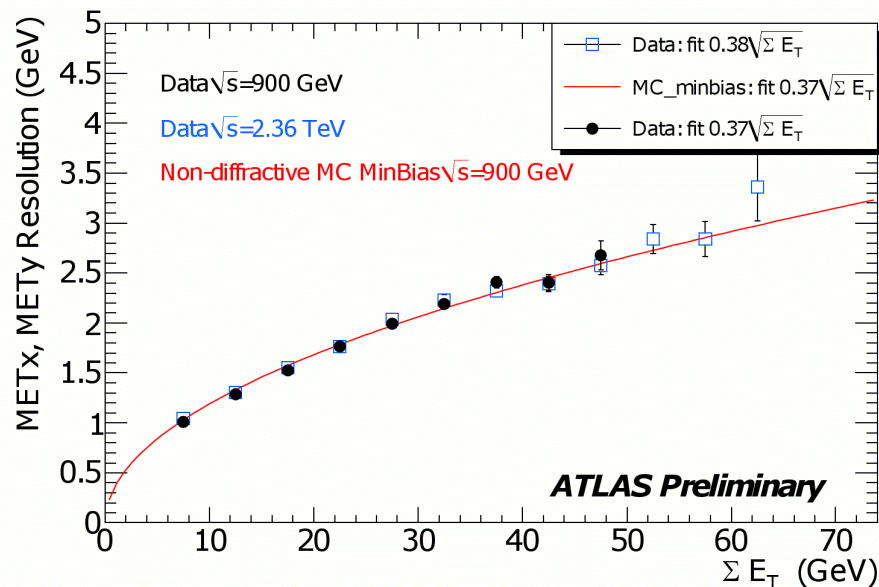
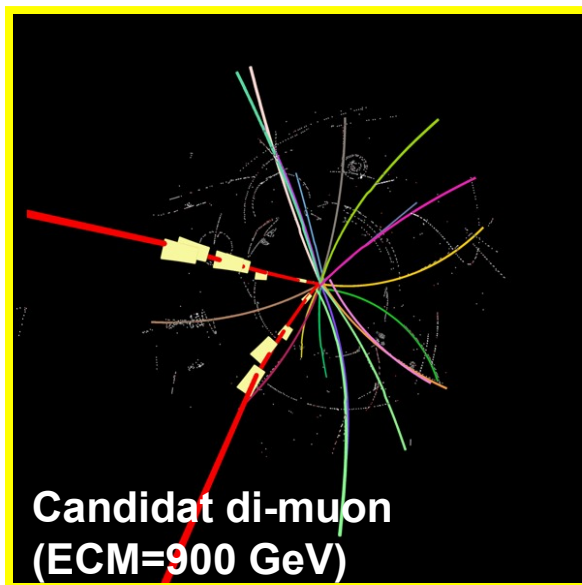
- $E_T > 20 \text{ GeV}$ : crucial rejet QCD-multijet, Z+jets

Jets: calorimètres (+ corrections échelle énergie)

- $P_T > 20\text{-}40 \text{ GeV}$
- Identification b-jets: tracker, calorimètres



# Quelques résultats (900 GeV/2.36 TeV)



## 1) La nouvelle physique et le quark top

- La physique du quark top
- Lien avec la nouvelle physique

## 2) Mise en évidence du top dans ATLAS

- Objectifs et outils
- Stratégie et méthodes
- **Perspectives pour les premières données (à h<sup>te</sup> énergie)**
  - **Mesures de section efficace à 10/7 TeV**

# Section efficace top-antitop

- **Canal di-lepton**

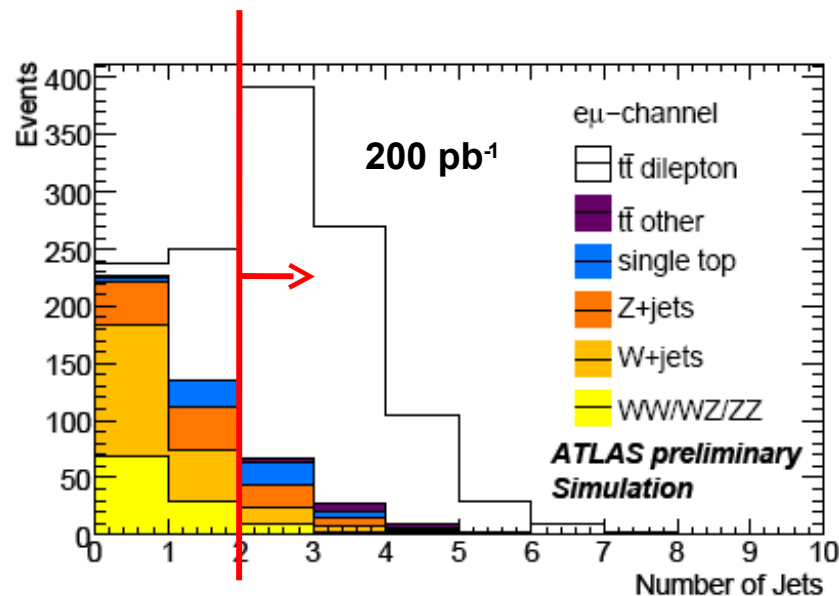
- 10 TeV, 200 pb<sup>-1</sup>, sélections simples et robustes, pas de b-tagging
- ATL-PHYS-PUB-2009-086

- 2 leptons (+/-), ≥2 jets, MET, veto fenêtre masse Z
- **fond**: leptons isolés (Drell-Yan, diboson...), év. mal identifiés (W+jets, QCD-multijet)
- mesure Drell-Yan et faux leptons à partir des données

## Mesure section efficace

Coupures séquentielles simples

**Précision ~ 10% (err. lum. exclue)**



$$3.1(\text{stat})^{+9.6}_{-8.7}(\text{syst})^{+26.2}_{-17.4}(\text{lumi})\%$$

↳ ISR/FSR, Fake rate

# Section efficace top-antitop

- **Canal lepton+jets**

- 10 TeV, 200 pb<sup>-1</sup>, sélections simples et robustes, pas de b-tagging
- ATL-PHYS-PUB-2009-087

- 1 lepton, ≥4 jets, MET, coupure  $M_W$
- **fond**: combinatoire, W+jets, single top, QCD-multijet
- données: estimation taux W+jets

## Mesure section efficace

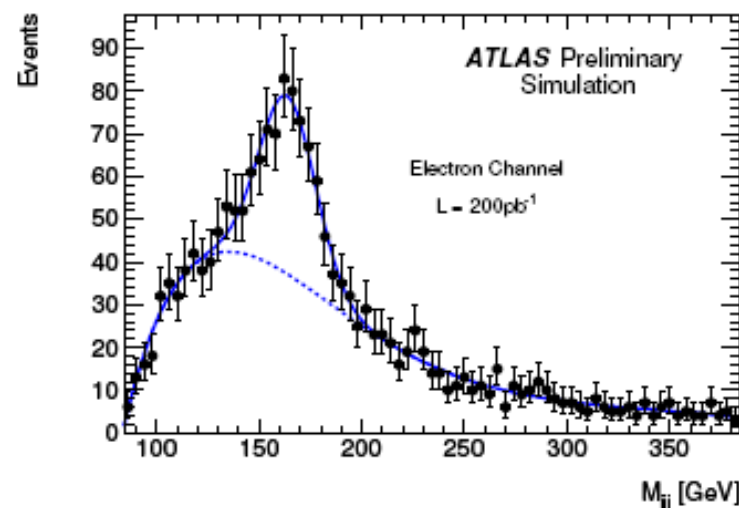
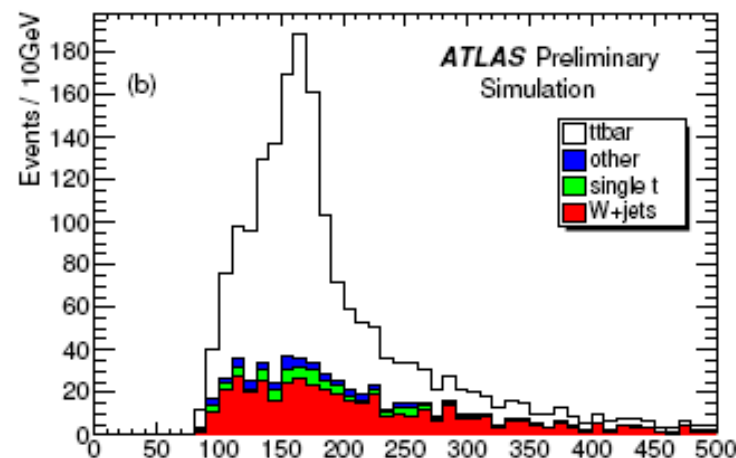
- coupures séquentielles
- fit masse hadronique top
- analyse sans coupures MET

**Précision < 20% (err. lum. exclue)**

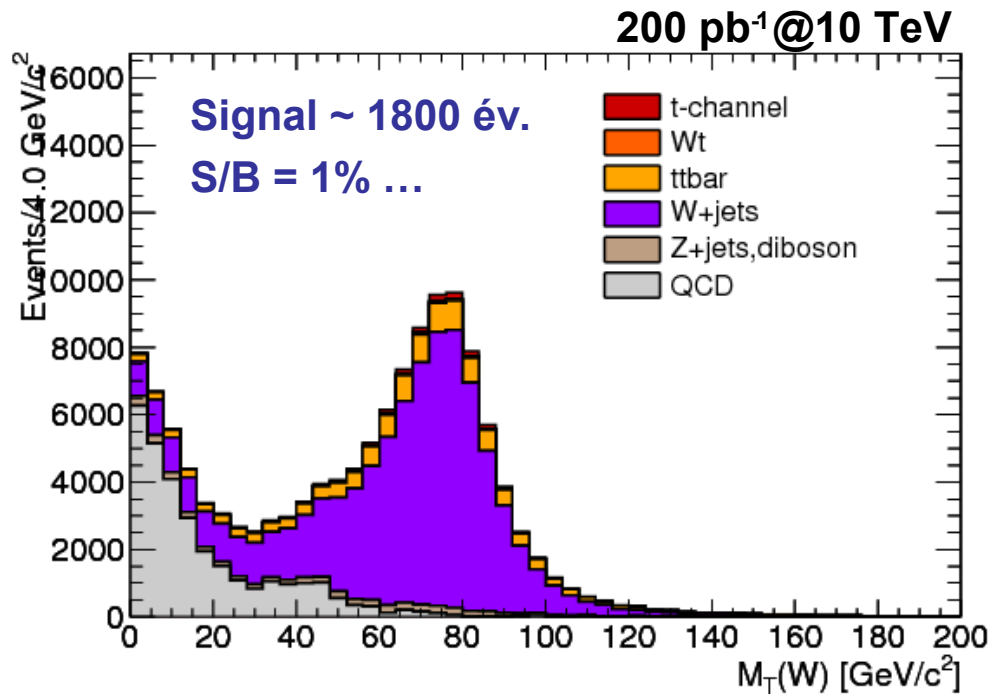
$$\Delta\sigma/\sigma(\text{cut}) = 3\%_{(\text{stat})} + <15\%_{(\text{syst})} + 22\%_{(\text{lumi})}$$

$$\Delta\sigma/\sigma(\text{fit}) = 15\%_{(\text{stat})} + <15\%_{(\text{syst})} + 20\%_{(\text{lumi})}$$

↳ JES, ISR/FSR



- Recherche single top dans la voie t
  - Mode de production du single top dominant [ $125 \text{ pb}@10 \text{ TeV} \sim 1/3\sigma_{tt}$ ]
  - Mise en évidence plus délicate
  - ATL-PHYS-PUB-2010-xxx



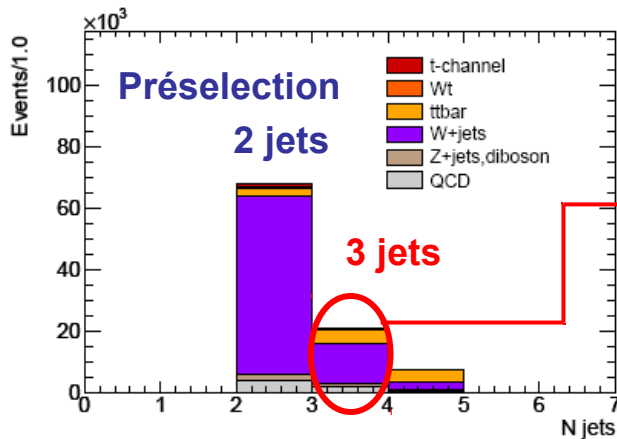
→ Identification des b-jets nécessaire !

# Recherche du single top

Résultats  
préliminaires

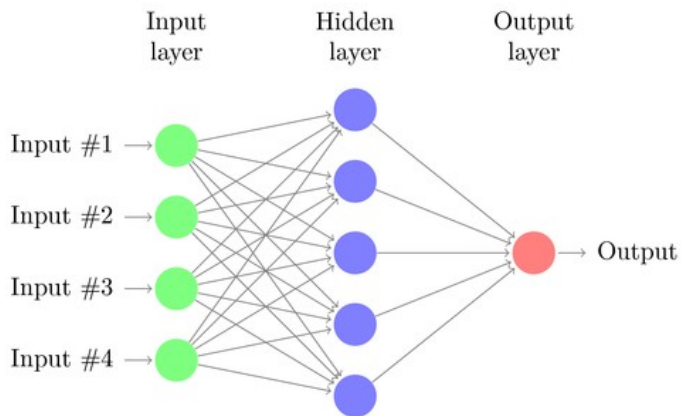
- **Mesure des processus  $t\bar{t}$  et  $W$ +jets**

- Présélection: 1 lepton, 2-4 jets, coupure MET et  $M_t(W)$

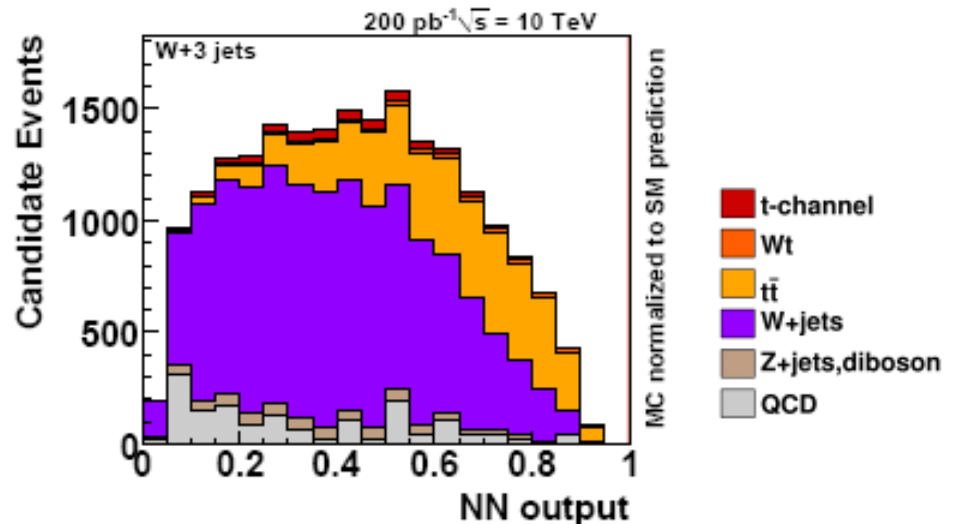


## Normalisation bruit de fond

- év. à 3-jets: 68%  $W$ +jets, 24%  $t\bar{t}$
- proche région signal (2-jets)
- construction discriminant NN
- fit év. à 3-jets  $\rightarrow$  normalisation processus  $W$ +jets et  $t\bar{t}$



11 variables en entrée: masses invariants, distribution angulaires

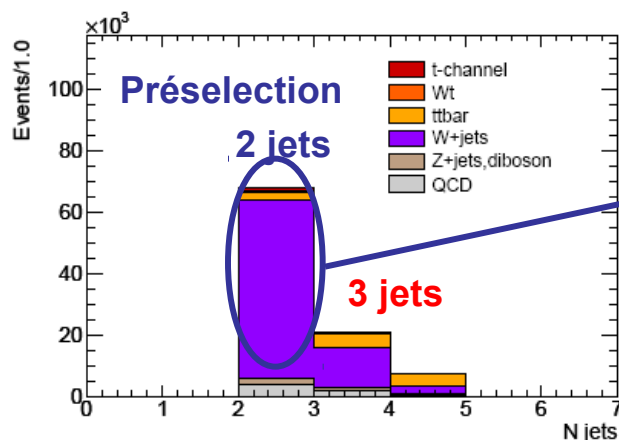


# Recherche du single top

Résultats  
préliminaires

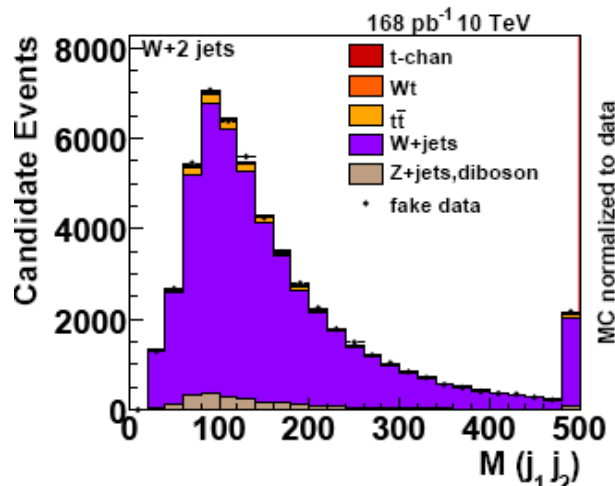
- **Mesure des processus  $t\bar{t}$  et  $W$ +jets**

- Présélection: 1 lepton, 2-4 jets, coupure MET et  $M_t(W)$

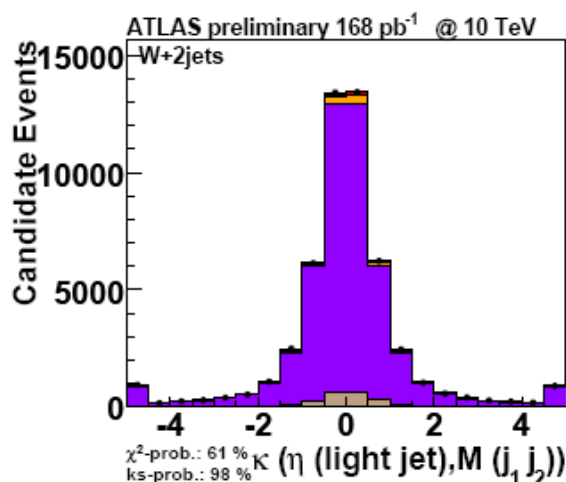


## Validation NN

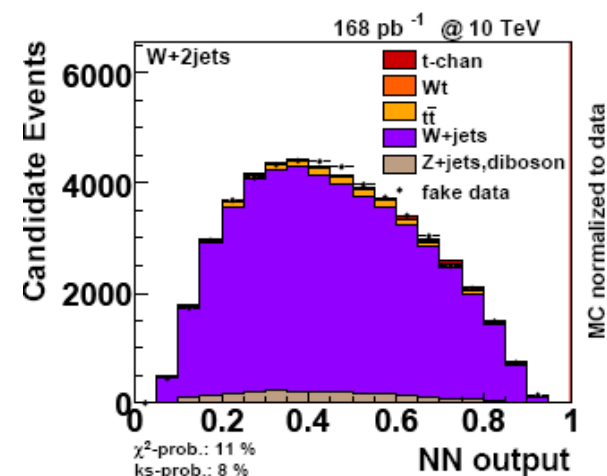
- événements à 2-jets, 0-tags
- processus dominant:  $W$ +jets



Variables NN



Corrélations

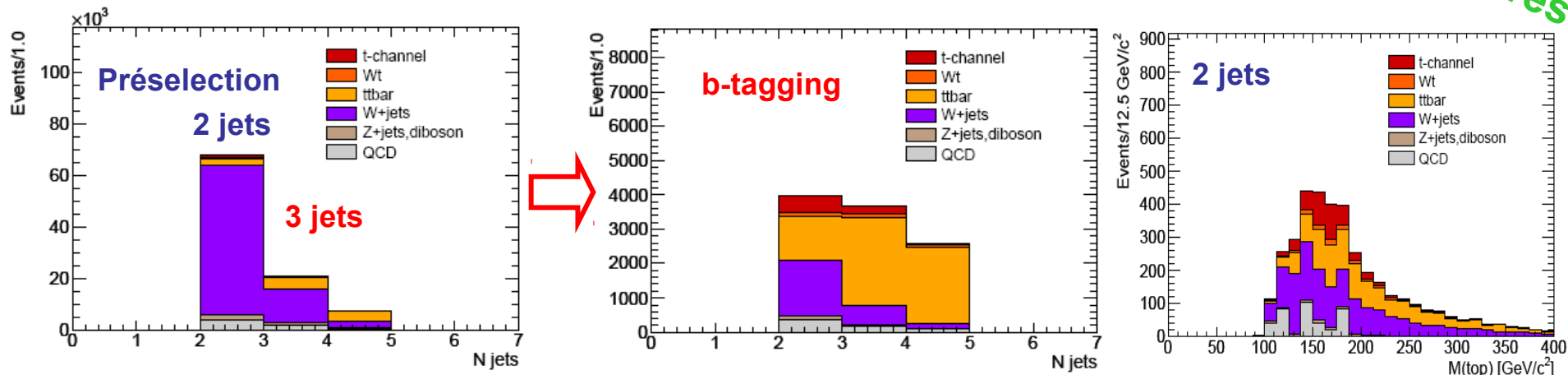


Discriminant NN

# Recherche du single top

Résultats  
préliminaires

- **Identification des b-jets**
  - Région signal: 2-jets,  $\geq 1$  b-tag



## Étiquetage des b-jets

- Algorithme JetProb: prob. que le jet soit un jet léger
- efficacité b-tagging: 45%,
- réjection jets légers  $\sim 100$

N (200 pb <sup>-1</sup> )	Présel.	$\geq 1$ b-tag
Signal	1650	$\sim 750$
Fonds	$\sim 95000$	$\sim 9500$
- ttbar	11%	69%
- W+jets	76%	23%
- QCD	7%	6%
S/B	0.02	0.08

# Recherche du single top

Résultats  
préliminaires

## • Purification de l'échantillon: 2 approches

### Coupures séquentielles

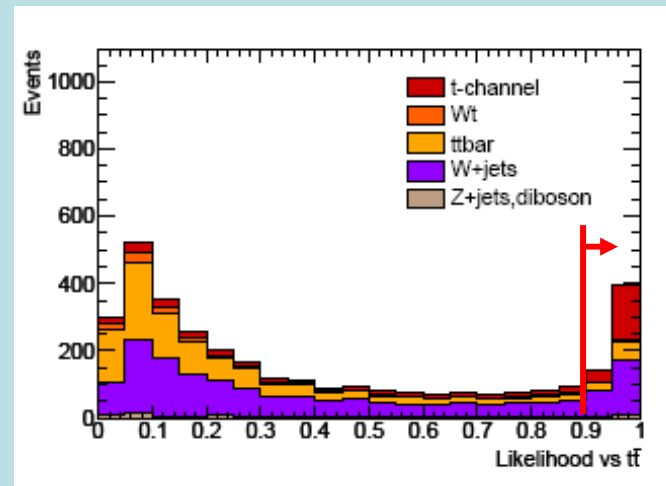
- $P_T(\text{b-jet}) > 50 \text{ GeV} \rightarrow$  réduction W+jets
- $\eta(\text{light-jet}) > |2.5| \rightarrow$  réduction ttbar

N (200 pb <sup>-1</sup> )	coupures	likelihood
Signal	118	112
Fonds	185	127
- ttbar	34%	25%
- W+jets	60%	70%
- QCD	negl.	negl.
S/B	0.64	0.88

Événements à 2-jets, après sélections

### Fonction vraisemblance

- rapport de fonctions de vraisemblance
- discriminant construit à partir de quelques variables angulaires
- ➔ méthode simple et robuste
- 2 discriminant vs W+jets et ttbar



# Recherche du single top

Résultats  
préliminaires

- Sensibilité de la mesure (200 pb<sup>-1</sup>, 10 TeV)**

- Précision mesure section efficace

Source of uncertainty	$\Delta\sigma/\sigma(\%)$	
	Sequential cuts	Likelihood
Data statistics	15%	14%
MC statistics	6%	6%
JES	8%	3%
<i>b</i> -tagging	26%	22%
Background normalization	12%	10%
ISR/FSR	10%	10%
PDF	7%	6%
Generator	11%	16%
Lep. ID, trigger	4%	3%
Luminosity	11%	11%
Total	45%	40%

Error	Variation
JES	±5% on jet energy
<i>b</i> -tagging	±6% <i>b</i> -tag eff. (absolute), ±10% mistag (relative)
BG error	Data-driven (W+jets, ttbar) and theory
ISR/FSR	specific t-ch and ttbar MC samples with low/high ISR/FSR
PDF	t-ch samples with different CTEQ and MRST PDF sets
Lep. ID, trigger	±1% error on S and B rates
Lum.	±10% integrated luminosity

Significance: 2.7  $\sigma$

- **Collisions à 7 TeV**

- Scénario moins favorable
- Réduction section efficaces
  - facteurs 1.5-2.5
  - Incertitude fond plus problématiques même pour les mesures  $t\bar{t}$

Processus	Facteur
Top-antitop	2.5
Single top	2.0
W+jets	1.5-1.7
QCD	1.5

## Redécouverte du top

- **Faisable pour 10-100 pb<sup>-1</sup>**
- **Identifications des b:** un atout !
  - **S/B multiplié par >5** après b-tagging
  - Mais mise en œuvre délicate

➔ **Observation (canal dilepton): mi/fin 2010**

## Perspectives single top

- **Significance** similaire qu'à 10 TeV avec une lum. 2-3x supérieure
- **Travail préparatoire important:** identification des b-jets, mesure précise des fonds principaux, validation méthodes multi-variables

➔ **Excès à  $3\sigma$  avec  $\sim 500 \text{ pb}^{-1}$**   
**Observation:  $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$**

- **Perspectives 2010/2011**

- Avec  $1\text{fb}^{-1}$  (fin 2011?): signal  $t\bar{t}$  bien établi, observation single top (voie t)
- Utilisation du quark top comme outil de calibration (JES, b-tagging)
- Paver la voie aux mesures de précision
  - Observation single top dans la voie t, découverte single top voie  $Wt$
  - Mesure polarisation W, recherche de résonnances top-antitop, recherche Higgs chargé ...

- **Le quark top: fenêtre vers la nouvelle physique**

- Physique du top riche et excitante
- Le LHC permettra d'améliorer nos connaissances sur le quark top
- ... et (avec un peu de chance!) de découvrir des phénomènes nouveaux !



# Possible LHC scenario

- Two years at 3.5 TeV
  - 2010: should peak at  $10^{32}$  and yield up to ~~0.5~~<sup>0.2</sup>  $\text{fb}^{-1}$
  - 2011:  $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$  at 3.5 TeV
  - 2012: splice consolidation (and cryo collimator prep.)
  - 2013: 6.5 TeV - 25% nominal intensity
  - 2014: 7 TeV – 50% nominal intensity
- } Aggressive

Year	Months	energy	beta	ib	nb	Peak Lumi	Lumi per month	Int Lumi Year	Int Lumi Cul
2010	8	3.5	2.5	7 e10	720	1.2 e32	-	0.2	0.2
2011	8	3.5	2.5	7 e10	720	1.2 e32	0.1	0.8	1.0
2012									
2013	6	6.5	1	1.1 e11	720	1.4 e33	1.1	7	8
2014	7	7	1	1.1 e11	1404	3.0 e33	2.3	16	24

M Nessi – Atlas weekly 02/02/10

23

More pessimistic:  $\sim 9 \text{ fb}^{-1}$

- **Supersymétrie**
  - Résous le pb de hiérarchie en introduisant des **particules supplémentaires**
  - **Superpartenaires, candidat matière noire (LSP)**
  - Nombreux modèles: MSSM, NMSSM, ...
  - Pas encore observés ....
- **Modèles de Higgs composé**
  - Higgs de dimensions finies: **composé de particules élémentaires**
  - Technicouleur
  - Modèle 'little Higgs'
- **Dimensions supplémentaires**
  - Et si effectivement la physique quantique s'arrêtait à  $10^{-17}$  cm ?
  - Théorie des cordes, dimensions supplémentaires
  - **Effet de gravitations** deviennent important bien avant l'échelle de Planck ( $10^{-33}$  cm)

Directly measured  
matrix elements  
including W-decays:

$$|V_{CKM}^{4 \times 4}| = \begin{pmatrix} 0.97418 & 0.2253 & 0.0043 & <0.046 \\ 0.224 & 0.973 & 0.041 & <0.20 \\ <0.045 & <0.125 & >0.78 & <0.63 \\ <0.075 & <0.21 & <0.63 & >0.78 \end{pmatrix}$$

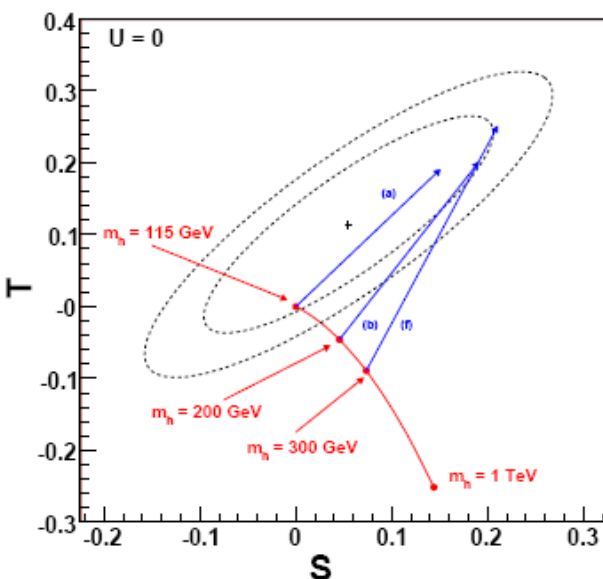
Limits  
@  $\sim 2\sigma$

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} & V_{ub'} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} & V_{cb'} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} & V_{tb'} \\ V_{t'd} & V_{t's} & V_{t'b} & V_{t'b'} \end{pmatrix}$$

$$|V_{td}| = 0.012 \quad \text{vs.} \quad 0.00874 \pm 0.0004$$

$$|V_{ts}| = 0.08 \quad \text{vs.} \quad 0.0407 \pm 0.0010$$

$$|V_{tb}| = 0.84 \quad \text{vs.} \quad 0.99913 \pm 0.0004$$



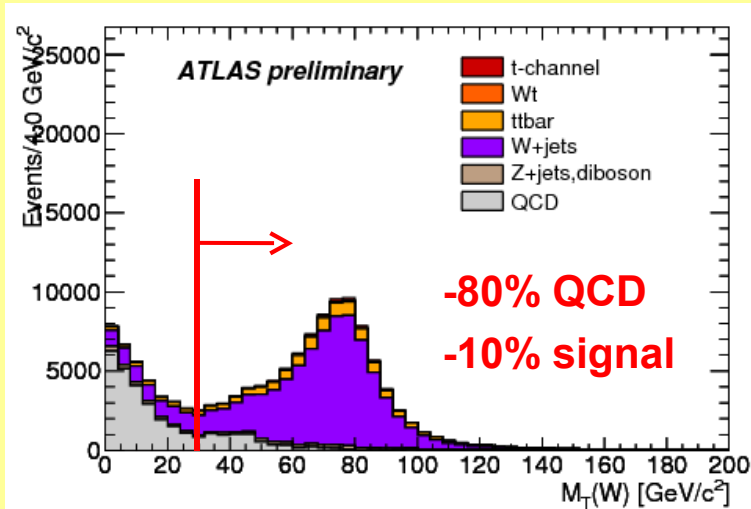
$$\begin{aligned} V_{ud} &= 0.97418 \pm 0.00027 && \text{Nuclear Beta decay} \\ V_{us} &= 0.2255 \pm 0.0019 && \text{Semileptonic K-decay} \\ V_{ub} &= 0.00393 \pm 0.00036 && \text{Semileptonic B-decay} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{cd} &= 0.230 \pm 0.011 && \text{Semileptonic D-decay} \\ V_{cs} &= 1.04 \pm 0.06 && \text{Semi- /Leptonic D-decay} \\ V_{cb} &= 0.0412 \pm 0.0011 && \text{Semileptonic B-decay} \end{aligned}$$

$$V_{tb} > 0.74 \quad \text{Single Top-production}$$

## Preselection

- same trigger/lepton selection and overlap removal procedure as in  $t\bar{t}$  single-lepton
- 1 isolated lepton  $P_T > 20$  GeV
- triggers:  $\mu 15 \parallel e 15_{\text{loose}}$
- $M_{E_T} > 20$  GeV
- 2-4 jets  $P_T > 30$  GeV
- $M_t(W) > 30$  GeV  $\rightarrow$  against QCD-multijet



Expected events in 200 pb<sup>-1</sup>  
after event preselection

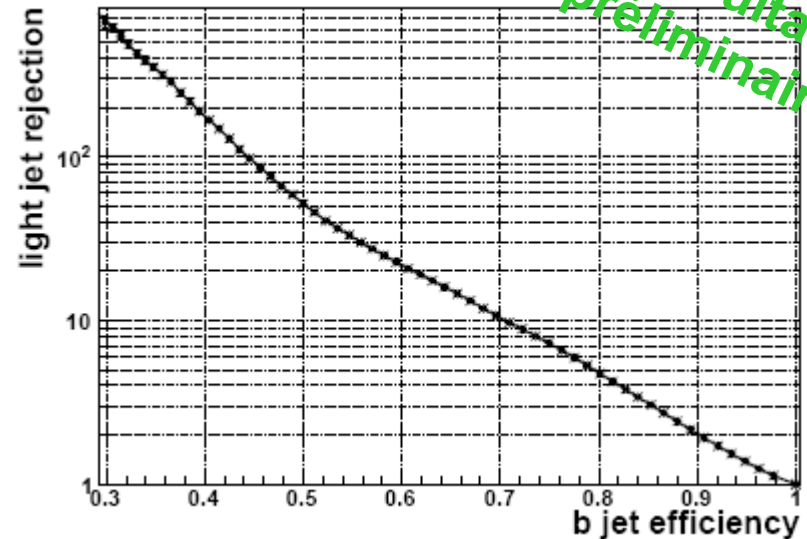
t-channel	~1650
Background	~95000
- W+jets	76%
- ttbar	11%
- QCD	7%

$\rightarrow$  b-tagging and multivariate  
selections necessary for  
single top analyses

## JetProb tagging algorithm

- among the first to be commissioned
- **working point:**
  - b-tag eff: 45%,
  - light-jet rejection  $\sim 100$
- **systematics** considered:
  - b-tag eff.:  $\pm 6\%$  **absolute** error
  - $\pm 10\%$  **relative** mistag rate

Résultats  
préliminaires



Efficiency and rejection curves  
(from b-tagging group)

Event yield ( $200 \text{ pb}^{-1}$ ,  $\geq 1$  b-tag)

t-channel	~750
Background	~9500
- ttbar	69%
- W+jets	23%
- QCD	6%

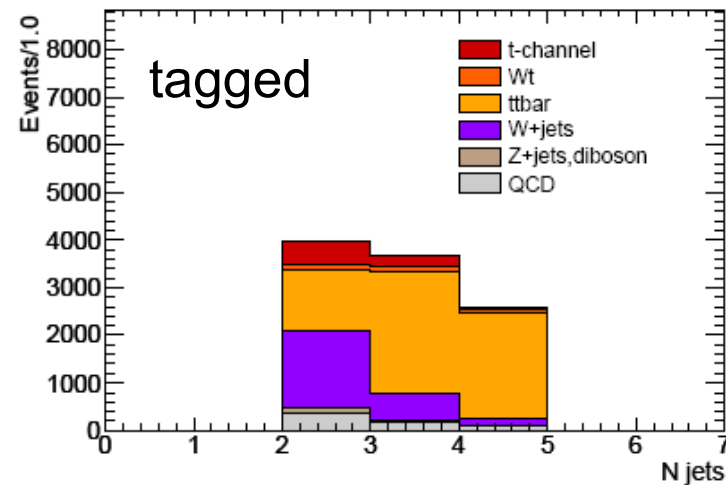
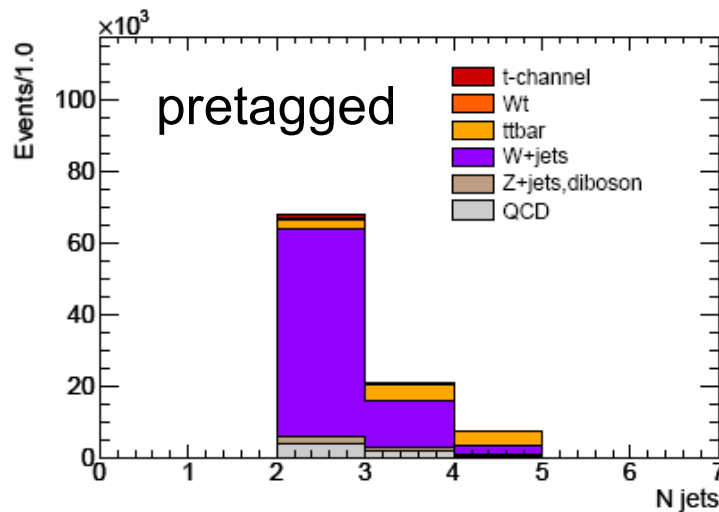
b-tag eff.	Rejection	$-\ln(\text{JetProb})$
0.45	93	4.26
0.51 (+6% abs.)	46	3.71
0.39 (-6% abs.)	203	4.85



Résultats  
préliminaires

- Event yield after Preselection

	Pretag preselection	Preselection	2-jets events
$t$ -channel	$1657 \pm 10$	$757 \pm 7$	$470 \pm 6$
$Wt$ -channel	$708 \pm 3$	$299 \pm 2$	$124 \pm 2$
$t\bar{t}$	$10847 \pm 43$	$6021 \pm 34$	$1254 \pm 16$
$W(\rightarrow l\nu)+0-5$ partons	$73291 \pm 173$	$2180 \pm 31$	$1531 \pm 26$
$W(\rightarrow l\nu)+b\bar{b}+0-3$ partons	$460 \pm 6$	$216 \pm 4$	$117 \pm 3$
$Z(\rightarrow ll)+\text{jets} / \text{diboson}$	$3135 \pm 25$	$131 \pm 5$	$86 \pm 5$
QCD	$6391 \pm 365$	$629 \pm 114$	$375 \pm 88$
Total	$96488 \pm 407$	$10232 \pm 124$	$3958 \pm 94$
S/B	0.02	0.08	0.13



# Determination of W+jets and ttbar rates

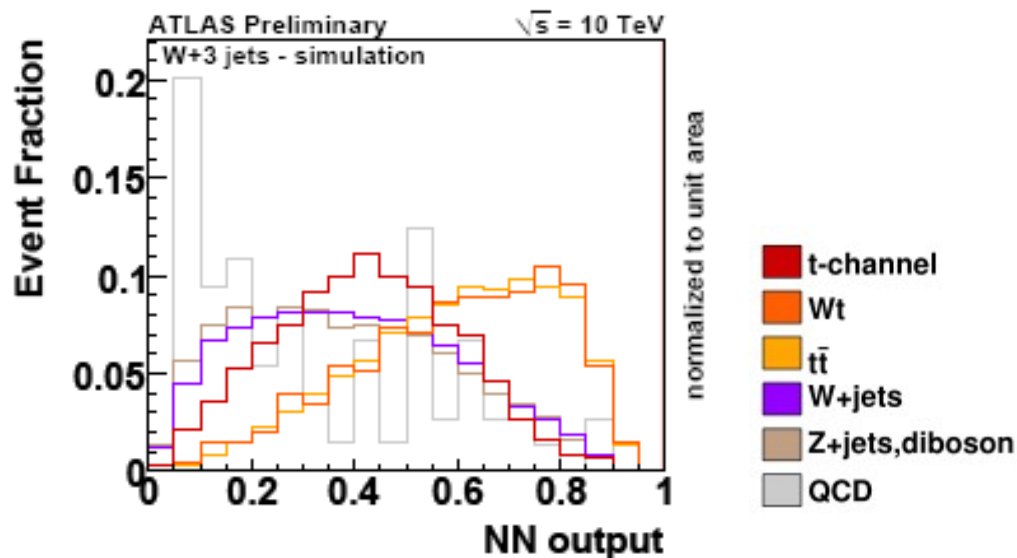
Résultats  
préliminaires

## Method

- Construct **NN discriminant**, fit W+jets and ttbar rate in data
- Use preselected **3-jets** events, before b-tagging
  - ~20000 events (200 pb<sup>-1</sup>), 68% W+jets, 24% ttbar
  - Orthogonal sample, kinematically similar to signal region

## Neural Network

- Feed forward 3-layer NN with variable preprocessing (NeuroBayes)
- 15 nodes in hidden layer, 11 discriminating input variables

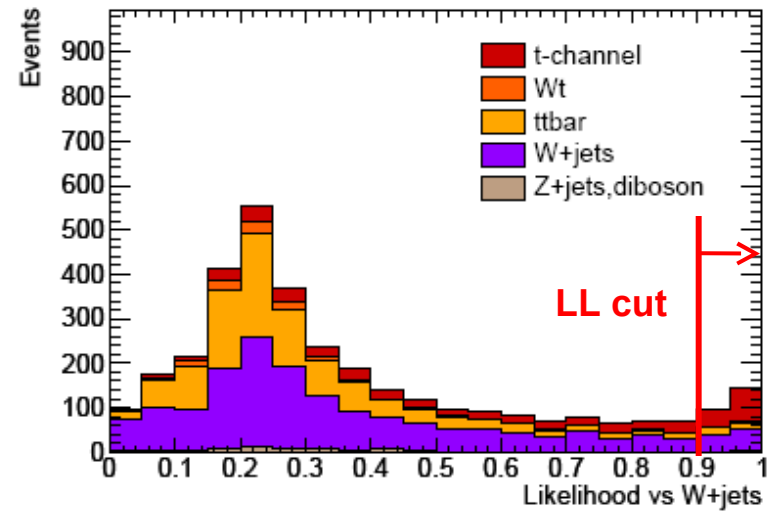
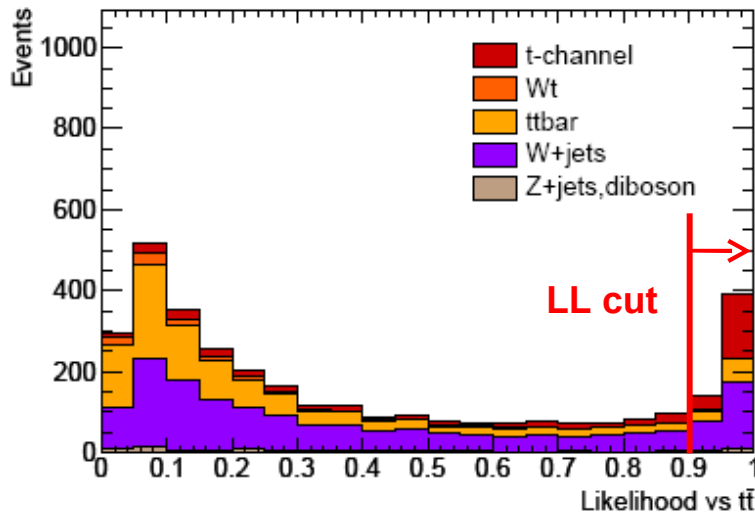


$$H_T, M(j_1, j_2), M(j_1, j_3), M(j_2, j_3), M(j_1, j_2, j_3), \eta(l), |\Delta\eta(l, j_2)|, |\Delta\eta(l, j_3)|, |\Delta\eta(j_1, j_2)|, |\Delta\eta(j_2, j_3)|, \cos\theta(l, j_1)$$



Résultats  
préliminaires

## Likelihood distributions for 2-jets events



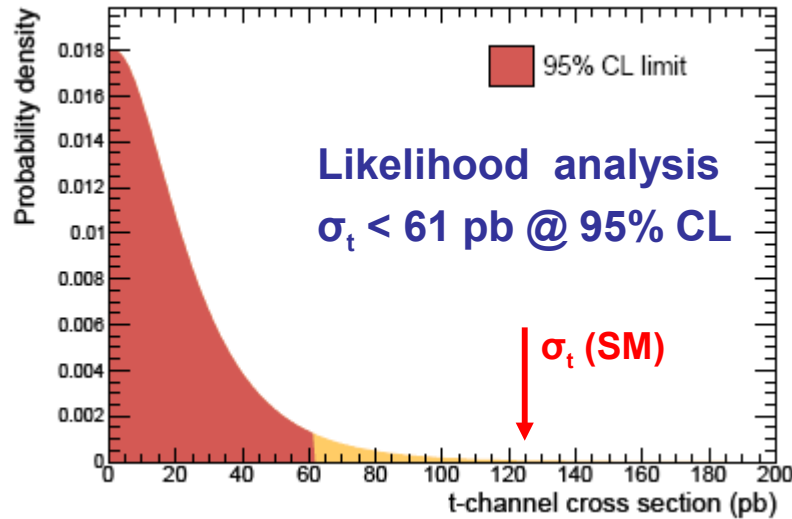
## Event yield

### QCD estimate:

- limited by MC stat
- 0 MC event pass selections in 2-jets bin
- ➔ expect this BG to be low and neglect it

Process	Sequential cuts		Likelihood cuts	
	2-4 jets	2 jets	2-4 jets	2 jets
$t$ -channel	$184 \pm 4$	$118 \pm 3$	$160 \pm 3$	$112 \pm 3$
$Wt$ -channel	$16 \pm 1$	$6 \pm 0$	$7 \pm 0$	$2 \pm 0$
$t\bar{t}$	$361 \pm 9$	$63 \pm 4$	$154 \pm 6$	$32 \pm 3$
$W \rightarrow l\nu + \text{jets}$	$159 \pm 7$	$112 \pm 6$	$114 \pm 6$	$89 \pm 6$
$Z \rightarrow ll + \text{jets, diboson}$	$7 \pm 1$	$4 \pm 1$	$6 \pm 1$	$3 \pm 1$
Total	$727 \pm 12$	$303 \pm 7$	$441 \pm 9$	$239 \pm 7$
S/B	0.34	0.64	0.57	0.89

- **Sensibilité de la mesure**
  - Limites et signification



Analysis	95% CL limit (pb)	p-value	Significance (std. deviation)
Cut-based	83	$1.1 \cdot 10^{-2}$	2.3
Likelihood	61	$3.5 \cdot 10^{-3}$	2.7

Meilleure sensibilité:  
2.7  $\sigma$  pour 200 pb<sup>-1</sup> à 10 TeV

# Production de Paire de Quark Top

- **Section efficace de production: approche théorique**
  - Théorème de factorisation

$$\sigma(\hat{s}, m_t^2) = \sum_{i,j} \int dx_i dx_j f_i(x_i, \mu_f^2) f_j(x_j, \mu_f^2) \cdot \sigma_{ij}(ij \rightarrow t\bar{t}; \hat{s}, \mu_R^2, \mu_f^2)$$

**section efficace  
pp → tt**

- s: ECM
- m<sub>t</sub>: masse top

**Somme sur les  
paires de  
partons (i,j)  
contribuant au  
processus**

**Intéraction longue distance**

- Fonction densité partonique f<sub>i</sub>(x<sub>i</sub>, μ<sub>f</sub><sup>2</sup>)
- x<sub>i</sub>: fraction d'impulsion longitudinale du parton i
- μ<sub>f</sub>: échelle de factorisation, sépare processus 'dur' et 'mou'

Typiquement μ<sub>f</sub> et μ<sub>R</sub> sont fixées à m<sub>t</sub>

**Intéraction courte distance**

- processus dur, grand moment transverse
- μ<sub>R</sub>: échelle de renormalisation, absorbe divergences UV

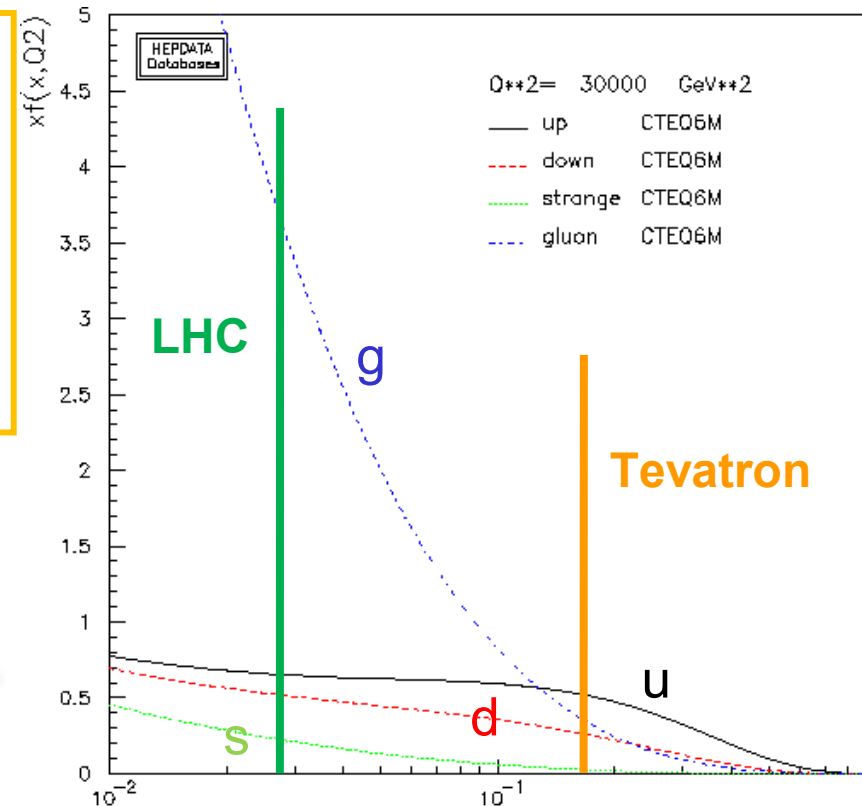
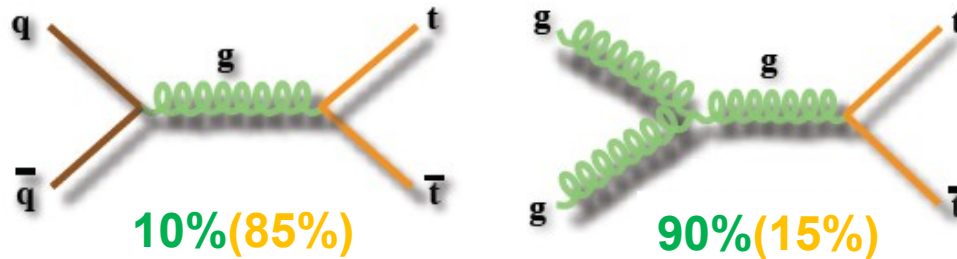
# Production de Paire de Quark Top

- **Section efficace de production: approche théorique**
  - Théorème de factorisation

$$\sigma(\hat{s}, m_t^2) = \sum_{i,j} \int dx_i dx_j f_i(x_i, \mu_f^2) f_j(x_j, \mu_f^2) \cdot \sigma_{ij}(ij \rightarrow t\bar{t}; \hat{s}, \mu_R^2, \mu_f^2)$$

Production au seuil  $x_i \approx 2m_t/\sqrt{s}$

- **LHC** :  $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV} \rightarrow x_i \approx 0.025$   
 $\rightarrow qq$  (10%) et  $gg$  (90%)
- **TeVatron** :  $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV} \rightarrow x_i \approx 0.175$   
 $\rightarrow qq$  (85%) et  $gg$  (15%)



# Désintégration du Quark Top

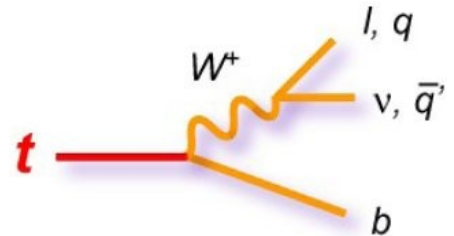
- **Modes de désintégration**

- Durée de vie très courte

$$\forall \tau_{\text{tp}} \sim 4 \times 10^{-25} \text{ s} < \tau_{\text{had}} \sim 28 \times 10^{-25} \text{ s}$$

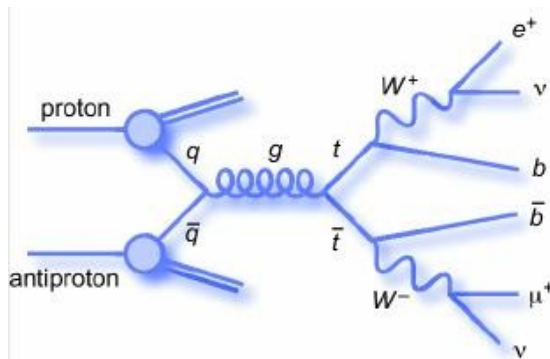
- Le top se désintègre avant hadronisation

- $\text{BR}(t \rightarrow Wb) \sim 100\%$  dans le modèle standard



- **Modes de désintégration des paires  $t\bar{t}$**

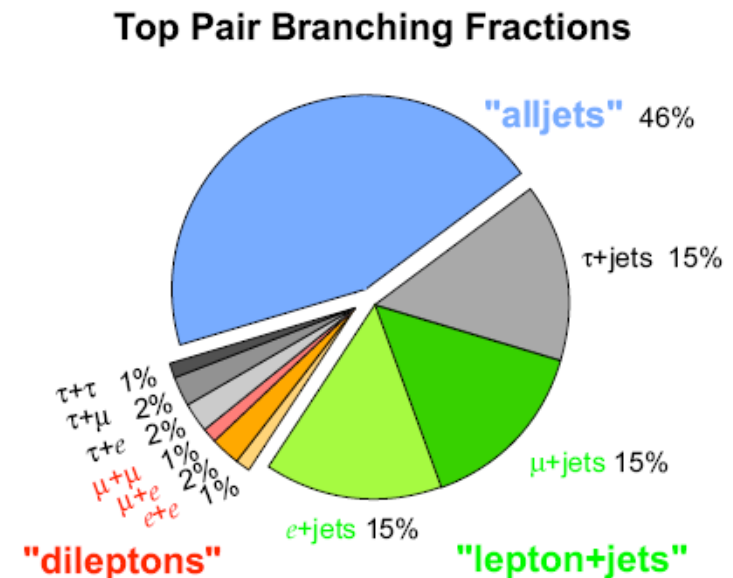
- En fonction de la désintégration du  $W$



→ Canal dilepton: 9%

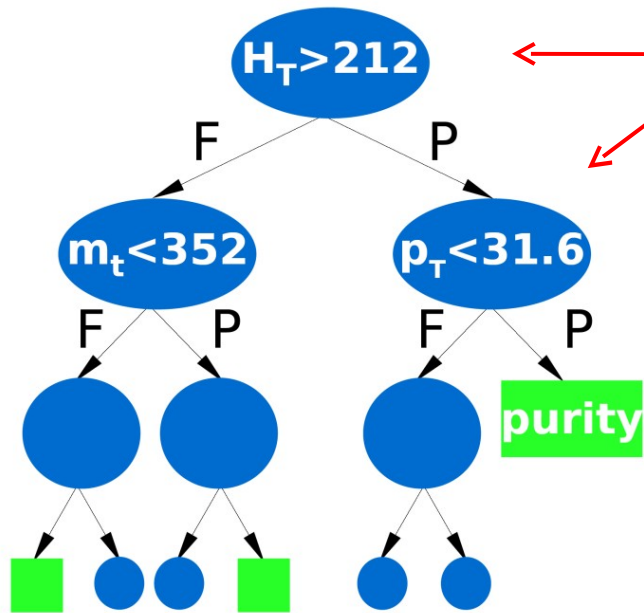
→ Canal lepton+jets: 45%

→ Canal hadronique: 46%



# Arbres de Décision 'boostés'

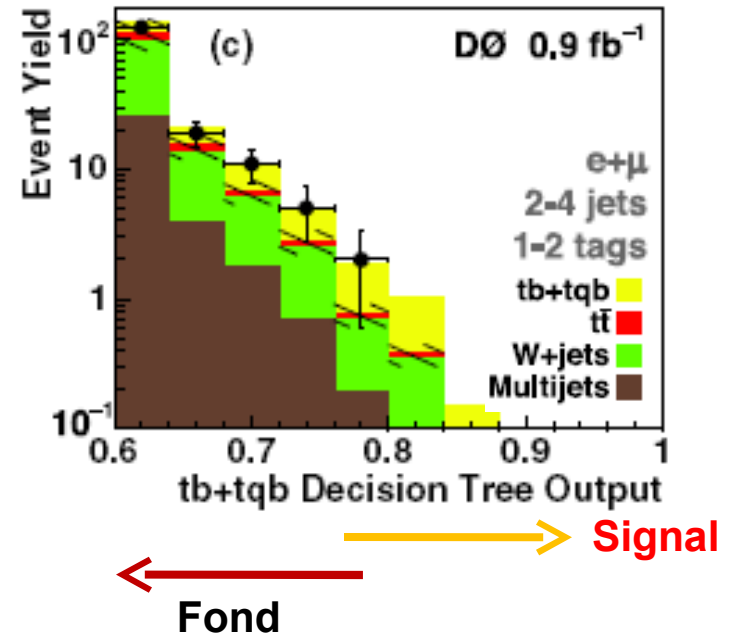
- Coupures itératives pour classifier les événements



**Arbre de décision:** à chaque nœud  $\rightarrow$  variable et coupure qui sépare les événements

**Entraînement:** maximiser le pouvoir séparateur

**Boosting:** moyenne plusieurs arbres, dilue la nature discrète de l'arbre, améliore le pouvoir séparateur.



# Perspectives for 7 TeV CM collisions

Résultats  
préliminaires

- **7 TeV rescaling**

- Same 10 TeV mc8 MC
- Rescale cross sections to 7 TeV:

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasProtected/TopMC2009>

- **Event yield: 60 - 500 pb<sup>-1</sup>**

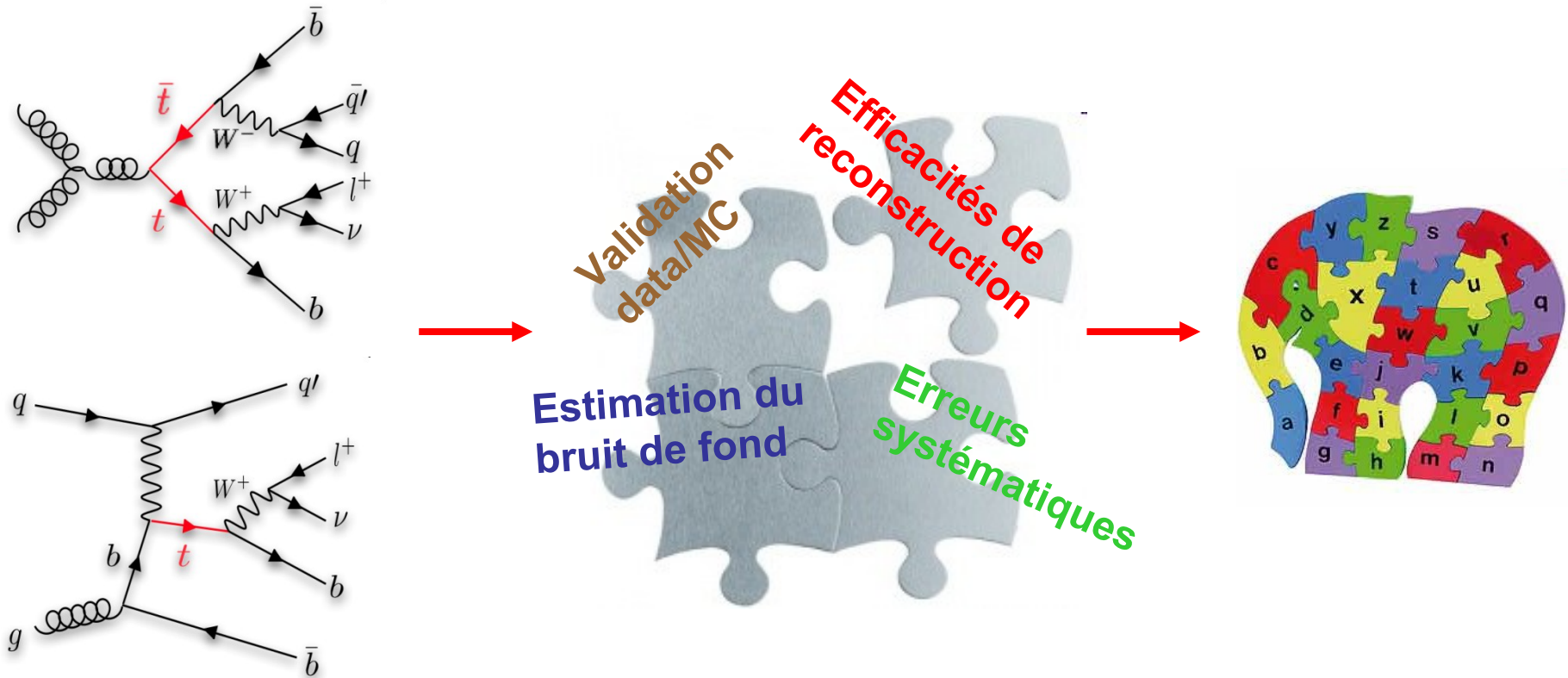
- Likelihood cuts analysis

	Likelihood-cut-2jets			200 pb <sup>-1</sup> @10 TeV
	60 pb <sup>-1</sup> @7TeV	100 pb <sup>-1</sup> @7TeV	500 pb <sup>-1</sup> @7TeV	
t-ch	15.9 ± 0.4	26.5 ± 0.7	132.4 ± 3.4	112 ± 3
Wt-ch	0.3 ± 0.0	0.5 ± 0.0	2.5 ± 0.2	2 ± 0
ttbar	3.8 ± 0.3	6.4 ± 0.5	31.8 ± 2.7	32 ± 3
Wjets	14.2 ± 0.9	23.6 ± 1.5	118.1 ± 7.7	89 ± 6
Zjets,dib	0.6 ± 0.2	1.0 ± 0.3	5.2 ± 1.6	3 ± 1
Total	35 ± 1	58 ± 2	290 ± 9	239 ± 7
S/B		0.84	0.84	0.89
Stat error	37%	29%	13%	14%

About the same statistics and S/B

# Mise en évidence du quark top au LHC

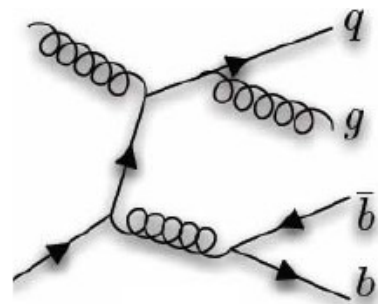
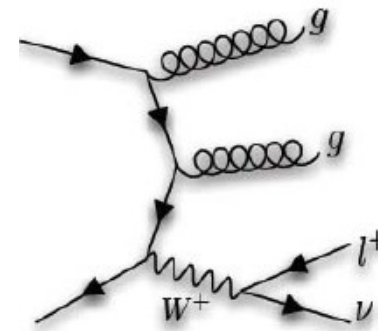
- En pratique un peu plus complexe ...



Priorité premières données: compréhension du détecteur, reconstruction et identification des objets physiques, reconstruction processus MS ...

- **Processus principaux**

- **W+jets [ $\sim 40 \times \sigma_{tt}$ ]**
  - Lepton isolé, énergie manquante
  - Présence de b-jets
- **QCD-multijet [ $\gg 1000 \times \sigma_{tt}$ ]**
  - Jets reconstruits comme des leptons
  - Présence de b-jets, leptons non isolés
  - Taux de mauvaise id. faible mais section efficace élevée
- **Z+jets, dibosons ...**
- **(single)top**



## Modélisation des fonds avec les données

- incertitudes sur section efficaces: normalisation in-situ
- validation Monte Carlo: gerbe partonique, événements sous-jacent, distributions cinématiques ...

- **Coupures séquentielles**

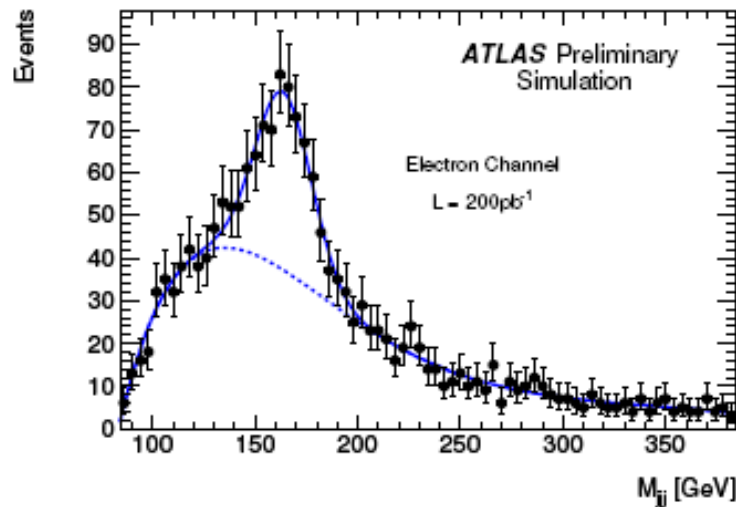
- Coupures sur des variables (+ou-) discriminantes
- Estimation fond: MC, échantillons de contrôle
- Minimisation de fonction de vraisemblance

$$L(\sigma) = \prod_{\text{channel } i}^N \frac{e^{-(B_i + \alpha_i L_i \sigma)} \cdot (B_i + \alpha_i L_i \sigma)^{D_i}}{D_i!}$$

- $B_i$  : # év. de fond
- $\alpha_i$  : acceptance signal
- $L$  : luminosité intégrée
- $D_i$  : données =  $B_i + \alpha_i L \sigma_{\text{th}}$
- $\sigma$  : section efficace

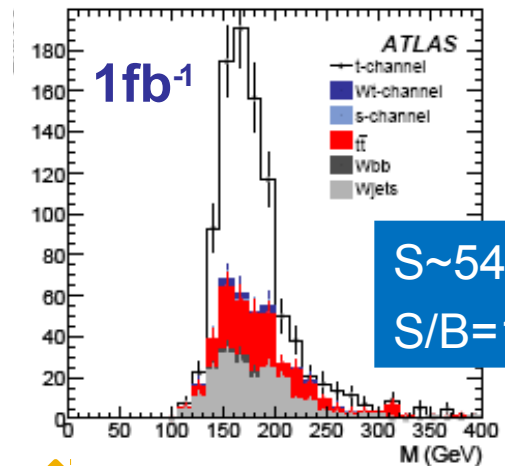
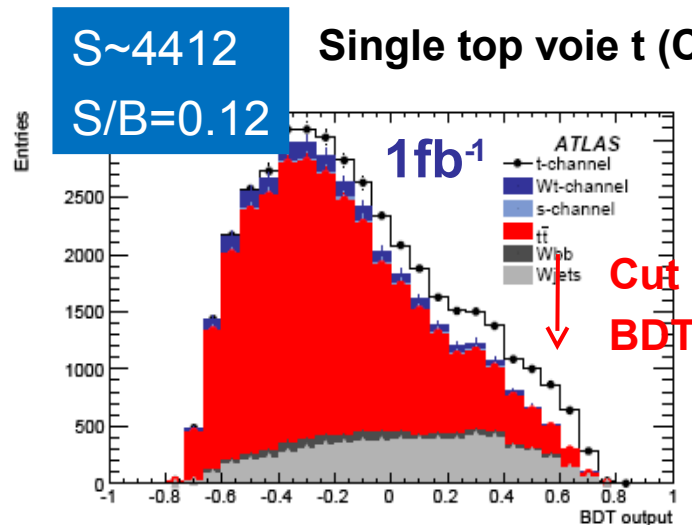
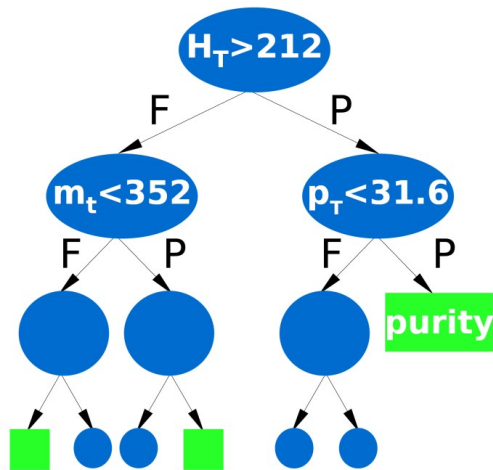
# Mesure de section efficace

- Coupures séquentielles
- **Méthode des 'templates'**
  - Reconstruction de variables discriminantes
  - Ajustement des données avec des modèles de signal et de fond



# Mesure de section efficace

- Coupures séquentielles
- Méthode des templates
- **Méthode multivariables**
  - Combinaison de plusieurs variables discriminantes
  - Nombreuses méthodes: réseaux de neurones, éléments de matrice, arbres de décision boostés ...
  - Méthodes complexes mais amélioration sensible du rapport S/B



# Mesure de section efficace

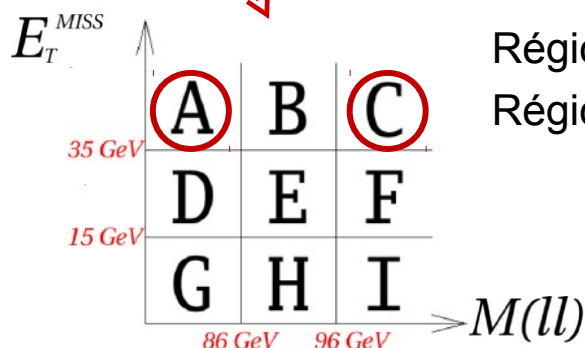
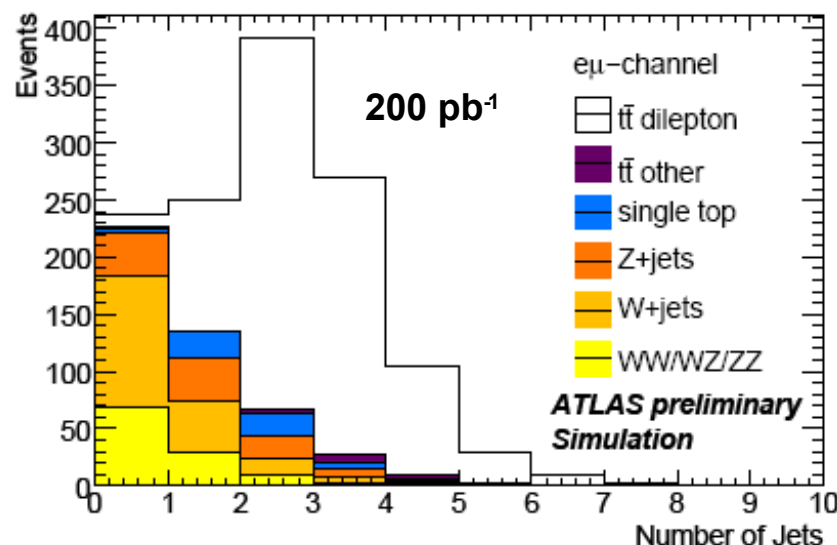
A word cloud on a black background. The words 'FOIN' and 'NIOF' are repeated many times in a black, sans-serif font, arranged in a circular pattern. Overlaid on this is the word 'top' in a large, bold, red font, and the words 'single top' in a smaller, green font. The overall effect is a dense, circular arrangement of text.

# Section efficace top-antitop

- **Canal di-lepton**

- 10 TeV, 200 pb<sup>-1</sup>, sélections simples et robustes, pas de b-tagging
- ATL-PHYS-PUB-2009-086

- 2 leptons (+/-), ≥2 jets, MET, veto fenêtre masse Z
- **fond**: leptons isolés (Drell-Yan, diboson...), év. mal identifiés (W+jets, QCD-multijet)
- mesure **Drell-Yan** et faux leptons à partir des données



Région signal: A, C  
Région fond: G, H

## Estimation Drell-Yan

$$A_{Est} = G_{Data} \left( \frac{A_{MC}}{G_{MC}} \right) \left( \frac{B_{Data}}{H_{Data}} \right) \left( \frac{H_{MC}}{B_{MC}} \right)$$

(idem pour C<sub>est</sub>)

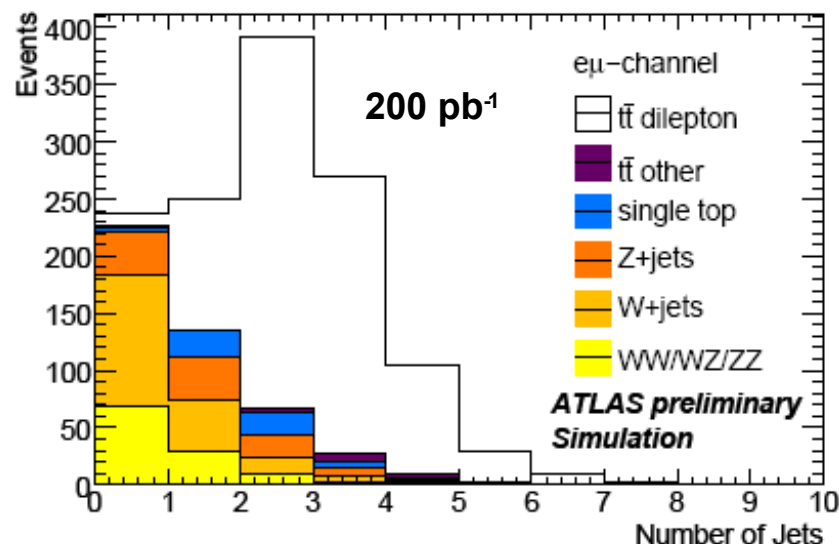
➔ Incertitude ~15%

# Section efficace top-antitop

- **Canal di-lepton**

- 10 TeV, 200 pb<sup>-1</sup>, sélections simples et robustes, pas de b-tagging
- ATL-PHYS-PUB-2009-086

- 2 leptons (+/-), ≥2 jets, MET, veto fenêtre masse Z
- **fond**: leptons isolés (Drell-Yan, diboson...), év. mal identifiés (W+jets, QCD-multijet)
- mesure Drell-Yan et faux leptons à partir des données



## Jets identifiés comme des leptons

**Région contrôle:** mesure prob. pour un lepton vrai/faux de passer des critères de sélection serrés →  $\epsilon$ ,  $f$

$$N_{\text{Fake}} = \left[ \frac{f_2(\epsilon_2 - 1)}{\epsilon_2 - f_2} + \frac{f_1(\epsilon_1 - 1)}{\epsilon_1 - f_1} \right] N_{\text{TT}} + \frac{f_2\epsilon_2}{\epsilon_2 - f_2} N_{\text{TL}} + \frac{f_1\epsilon_1}{\epsilon_1 - f_1} N_{\text{LT}}$$

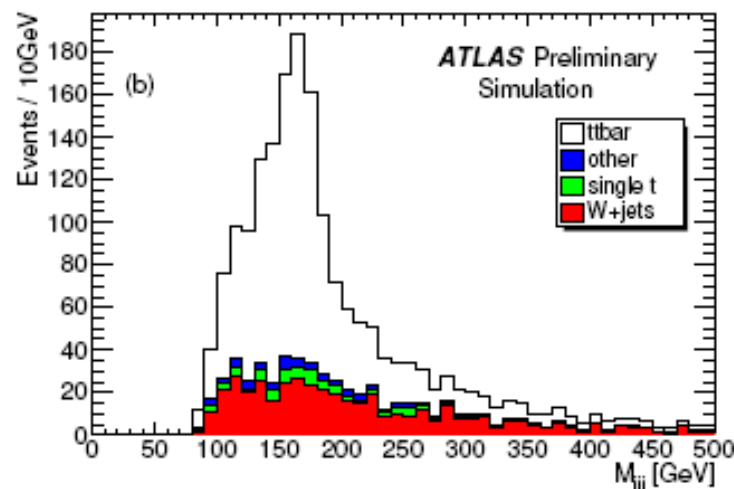
**Incertitude: 50-100%**

# Section efficace top-antitop

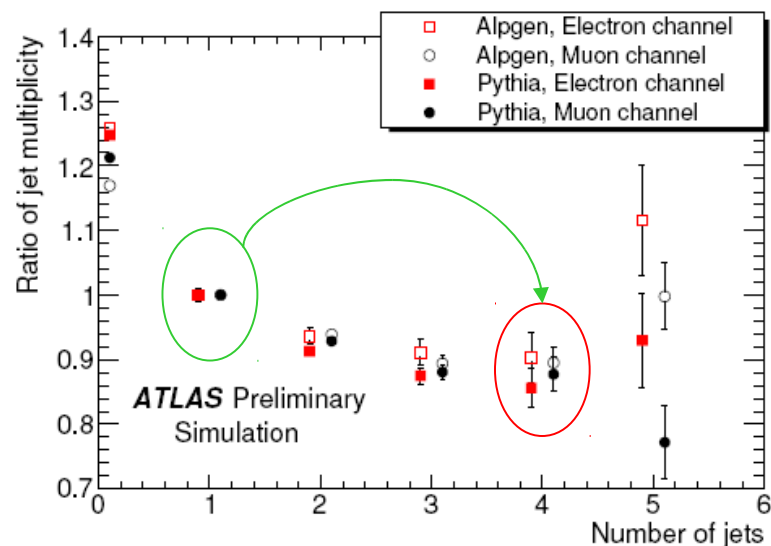
- **Canal lepton+jets**

- 10 TeV, 200 pb<sup>-1</sup>, sélections simples et robustes, pas de b-tagging
- ATL-PHYS-PUB-2009-087

- 1 lepton, ≥4 jets, MET, coupure  $M_W$
- **fond**: combinatoire, W+jets, single top, QCD-multijet
- données: estimation taux W+jets



## Rapport $W \rightarrow l\nu + \text{jets}$ sur $Z \rightarrow ll + \text{jets}$



- extrapolation **région de contrôle (CR)** avec 0/1 jet  $\rightarrow$  **region de signal (SR)** avec 4<sup>+</sup> jets
- estimation taux événement W+jets

$$(W^{SR}/W^{CR})_{\text{data}} = (Z^{SR}/Z^{CR})_{\text{data}} \cdot C_{MC}, \quad C_{MC} = \frac{(W^{SR}/W^{CR})_{MC}}{(Z^{SR}/Z^{CR})_{MC}}$$

**$\rightarrow$  Incertitude: ~20%**

- Trigger turn-on curves

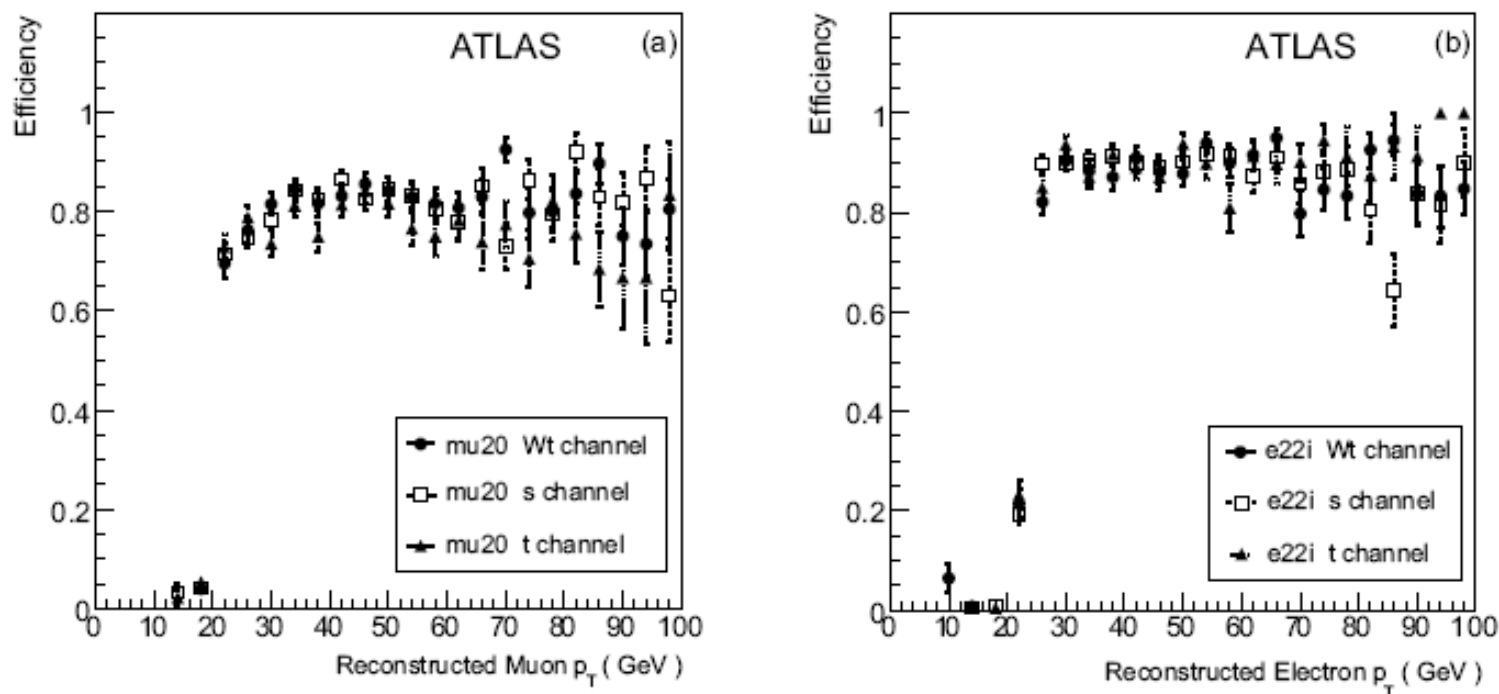


Figure 6: Turn-on curves are shown for the mu20i (a) and the e25i (b) trigger. In both plots, the circles represent Wt-channel single-top, the squares represent s-channel single-top, and the triangles represent t-channel single-top events.