



La physique du quark top à CMS

Silvano Tosi

IPN Lyon

Sommaire

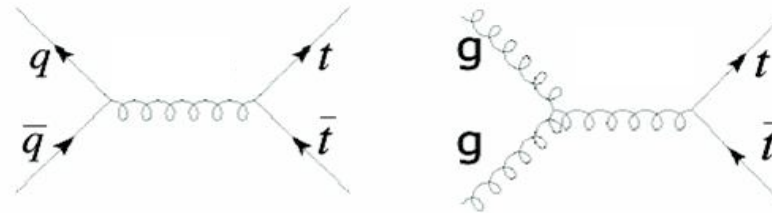
- Le quark top
- L'expérience CMS au LHC
- Ingrédients pour la physique du top
- Une sélection des résultats
 - Candidats top
 - Mesure de la section efficace avec le canal dileptonique
 - Mesure de la section efficace avec le canal semileptonique
- Perspectives et conclusions

Le quark top (I)

- La particule élémentaire la plus lourde connue
 - $m = (173.3 \pm 1.1) \text{ GeV}/c^2$ *; $\tau < 10^{-25} \text{ s}$
 - Il se désintègre avant d'hadroniser
 - $\text{BR}(t \rightarrow Wb) \sim 100\%$

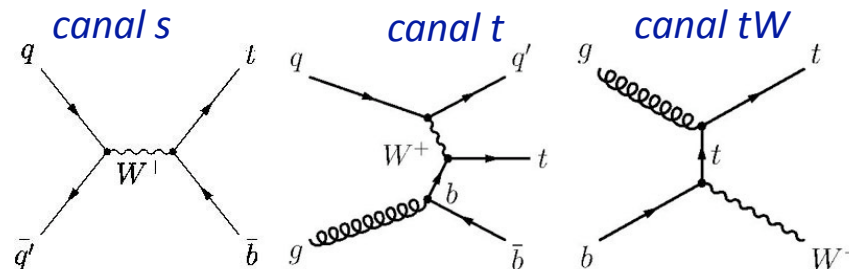


- Production de **paires $t\bar{t}$** (QCD): $\sigma \approx 158 \text{ pb}$ à 7 TeV



Selon la désintégration des W , on classe les désintégrations des paires $t\bar{t}$ comme
*semileptoniques (42%),
 dileptoniques (10%) ou
 hadroniques (48%)*

- Production de **tops célibataires** (EWK): $\sigma \approx 78 \text{ pb}$ à 7 TeV



* [arXiv:1007.3178](https://arxiv.org/abs/1007.3178)

Le quark top (II)

- Le quark top a une importance incontournable au LHC
- Teste des performances du détecteur
 - Plusieurs sous détecteurs interviennent: états finaux avec leptons, jets, énergie manquante
- Le top est un des fonds principaux pour la majorité des autres processus
- Vérification des calculs de QCD dans l'environnement du LHC
- Recherche de Nouvelle Physique au-delà du MS
 - couplage préférentiel de plusieurs modèles de NP au top
 - plusieurs signatures « top-like » prévues dans ces modèles

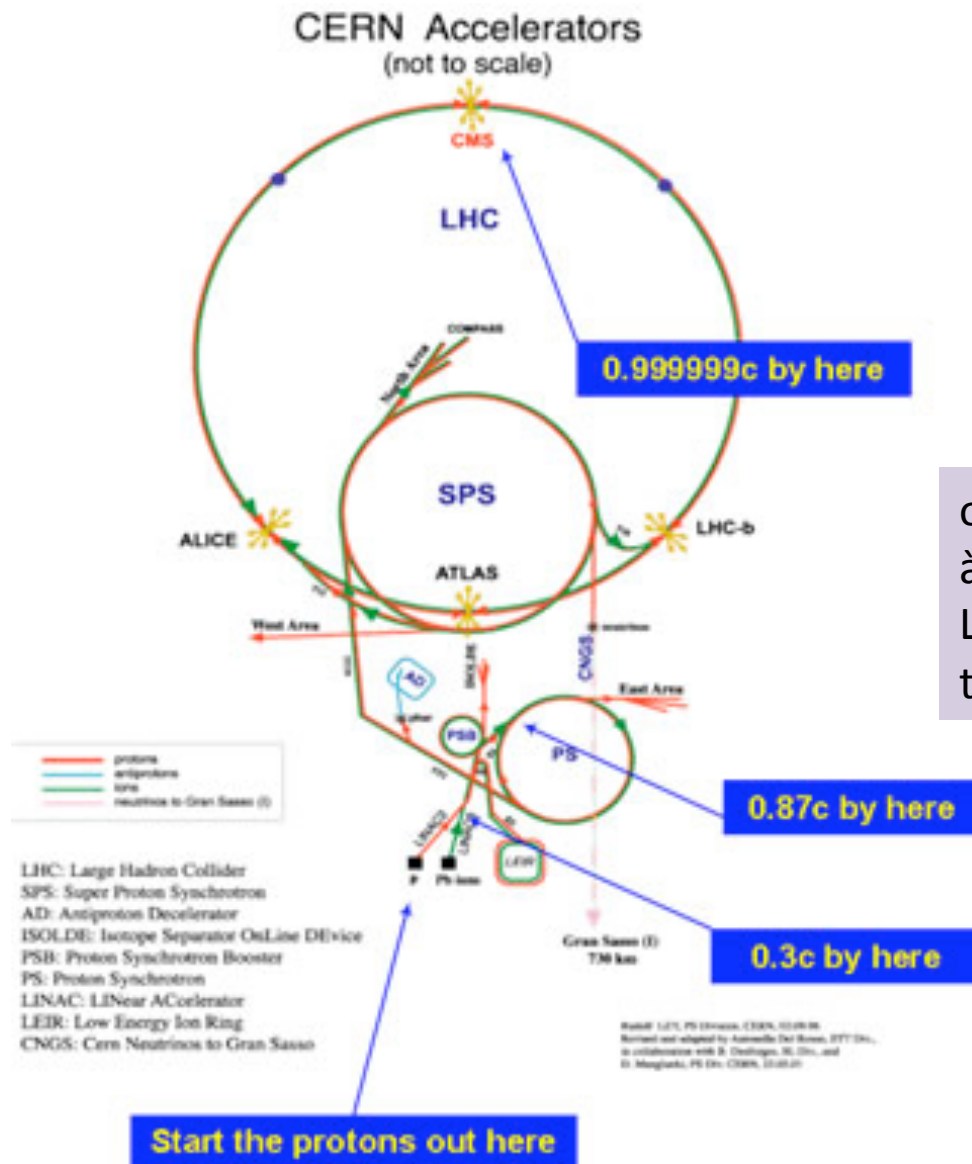
Le programme de physique du top

- Pour commencer:
 - « redécouverte » du top ✓
 - mesure de la section efficace de production inclusive ✓
 - Mesures de précision
 - sections efficaces différentielles,
 - top célibataire,
 - Propriétés du top:
 - $m(t)$ et $m(t)-m(\bar{t})$,
 - spin,
 - V_{tb} ,
 -
 - Recherches
 - $Z' \rightarrow t\bar{t}$,
 - $t \rightarrow H^+ b$,
 - t' ,
 - $t + \text{Higgs}$,
 - ...
- ✓ Présentés dans ce talk
- On est en train d'approcher tout ça

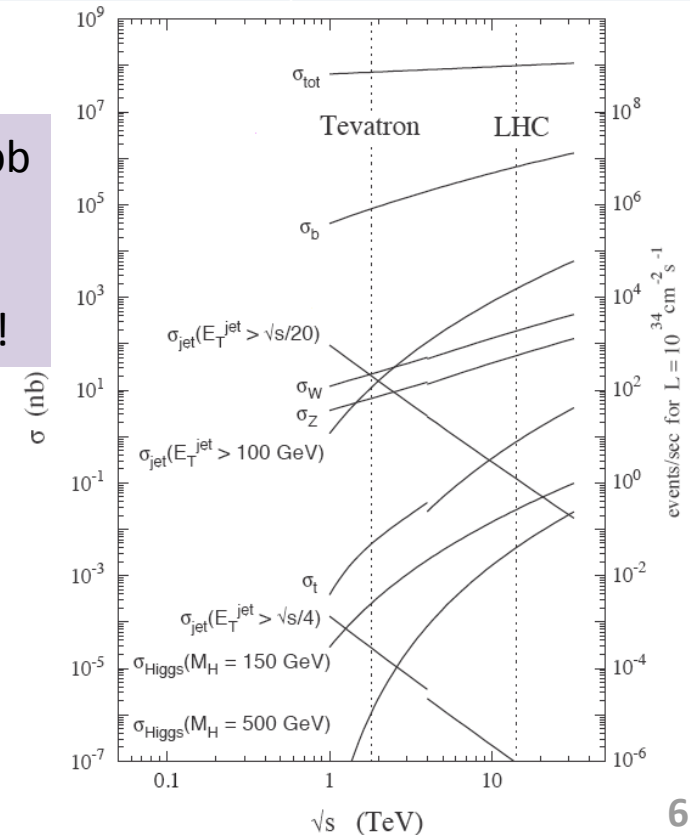
Le LHC

Collisions de protons et ions lourds

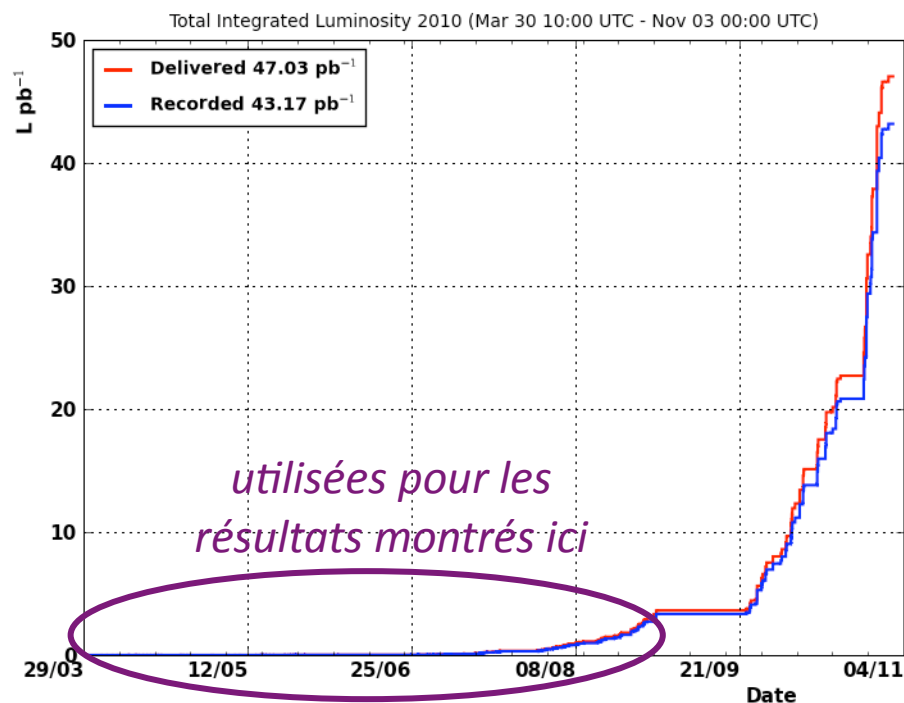
	Paramètres nominaux
Energie du centre de masse	14 TeV
Luminosité instantanée	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Luminosité intégrée	$100 \text{ fb}^{-1}/\text{an}$
N. bunches	2808



$\sigma(t\bar{t}) \sim 158 \text{ pb}$
à 7 TeV: le
LHC est un
top-factory !

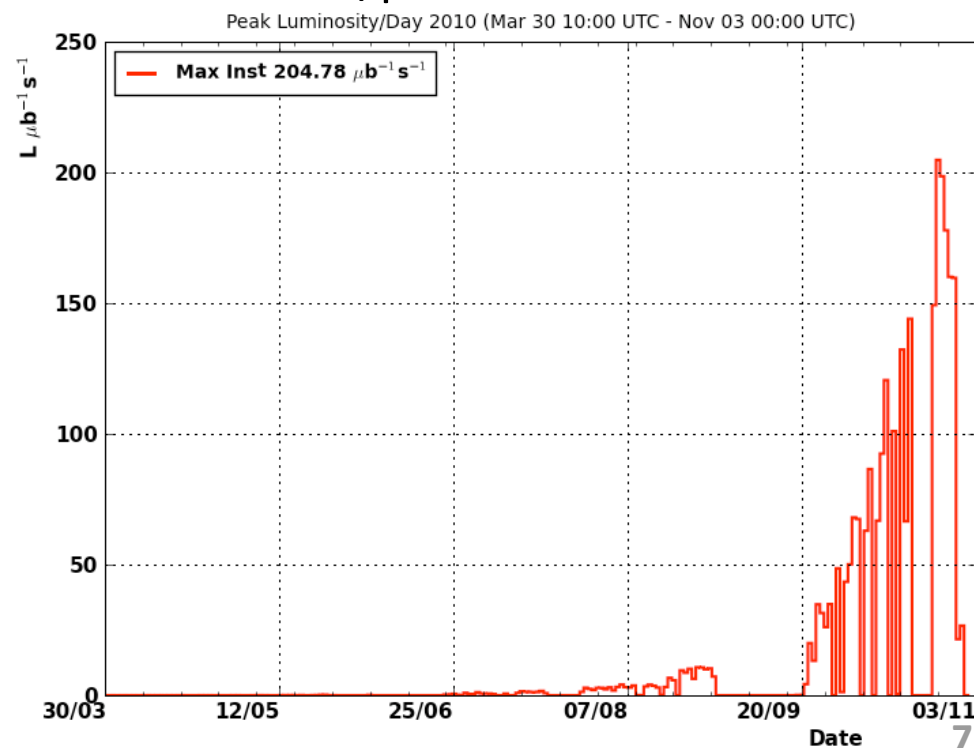


Les données accumulées

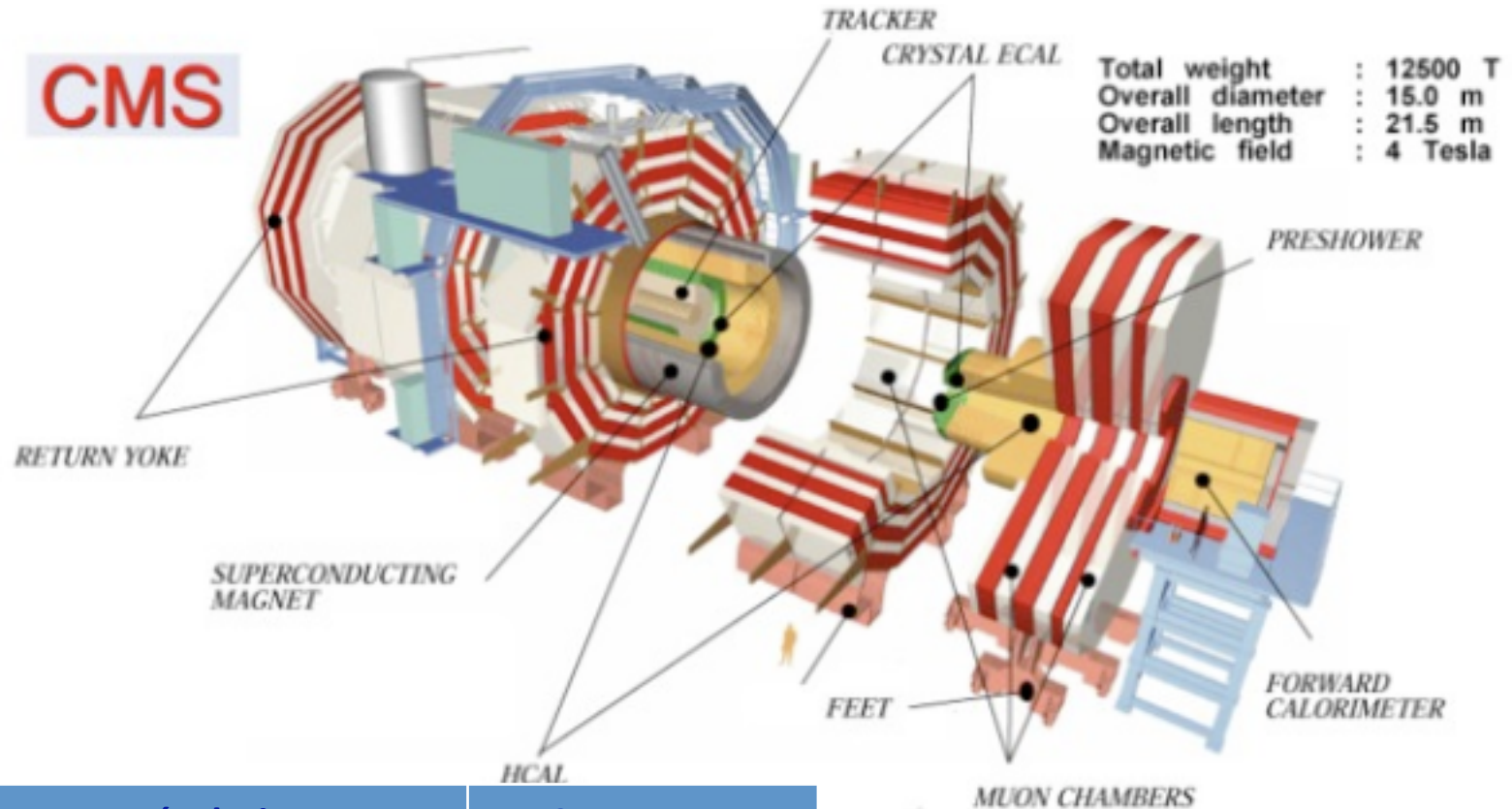


- Plan pour le 2011: run à 7 TeV.
 - On s'attends 1/fb de données
- Possible augmentation de l'énergie à 8 TeV en 2012

- 2009:
 - 12.5/ μ b pp à 900 GeV
 - 0.5/ μ b pp à 2.36 TeV
- 2010:
 - 47.03/pb pp à 7 TeV
 - 8.38/ μ b ions lourds à 7 TeV



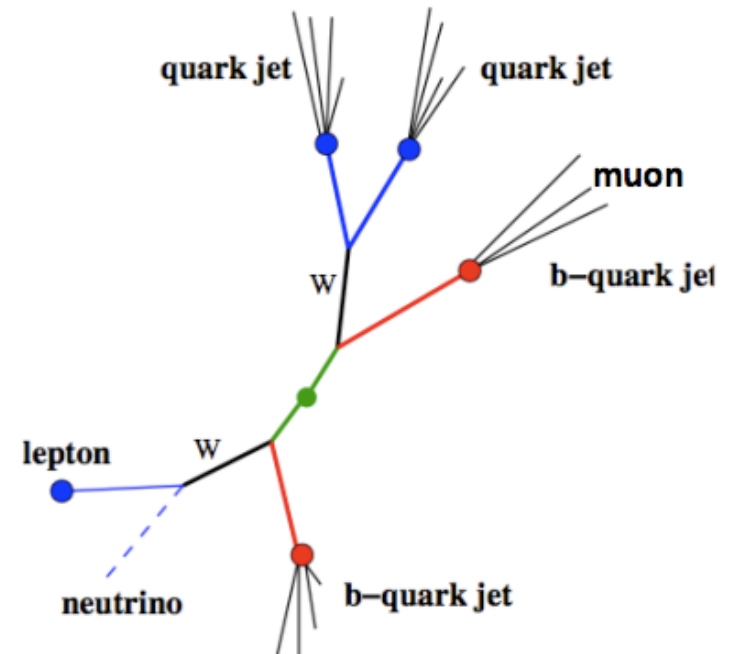
Le détecteur CMS



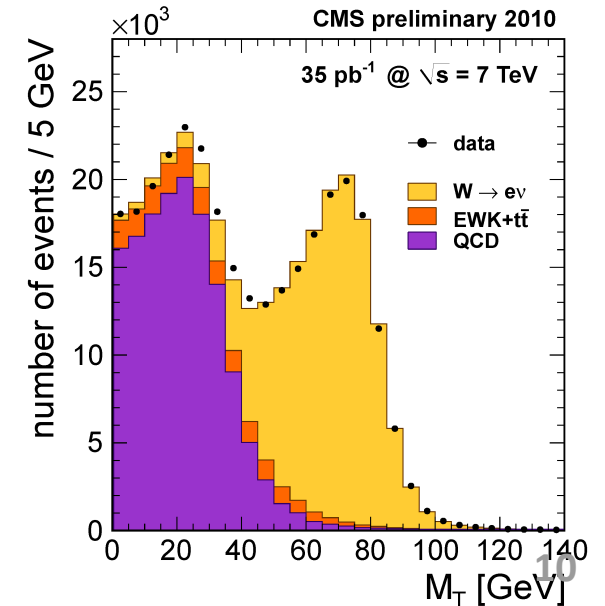
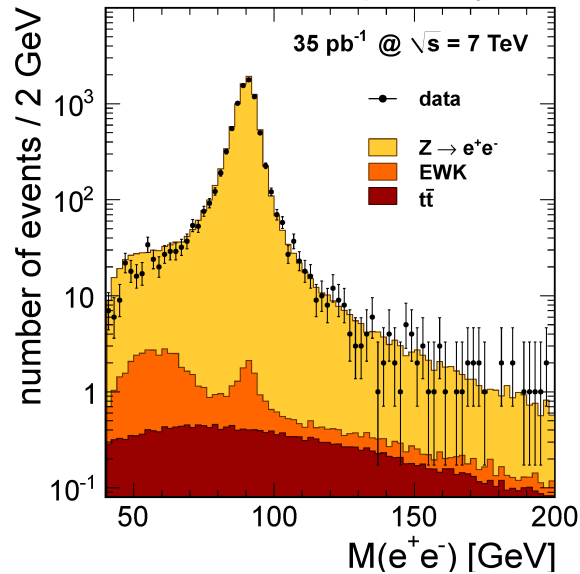
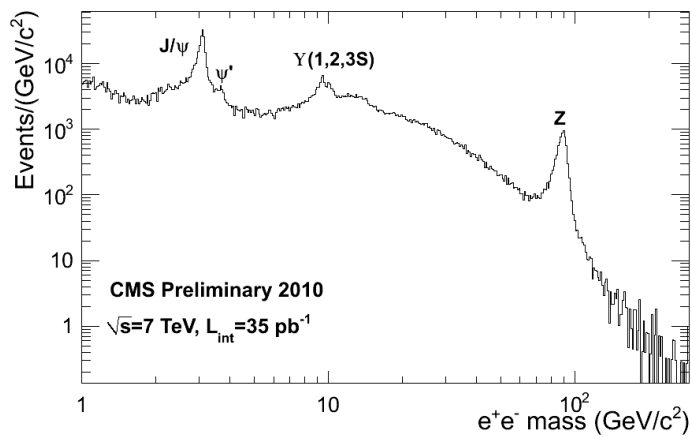
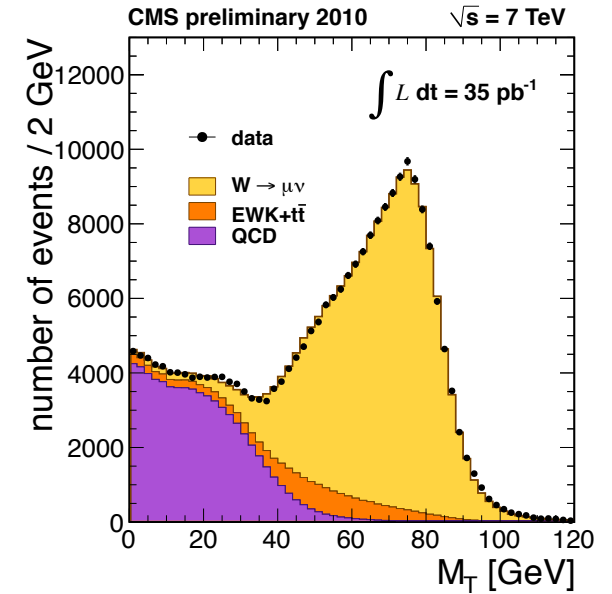
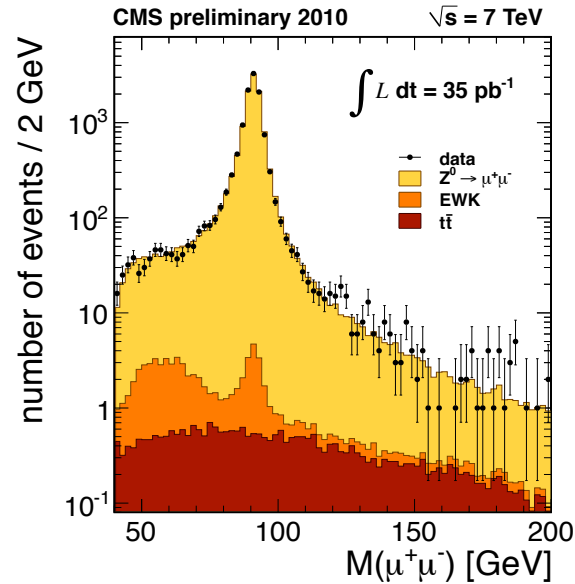
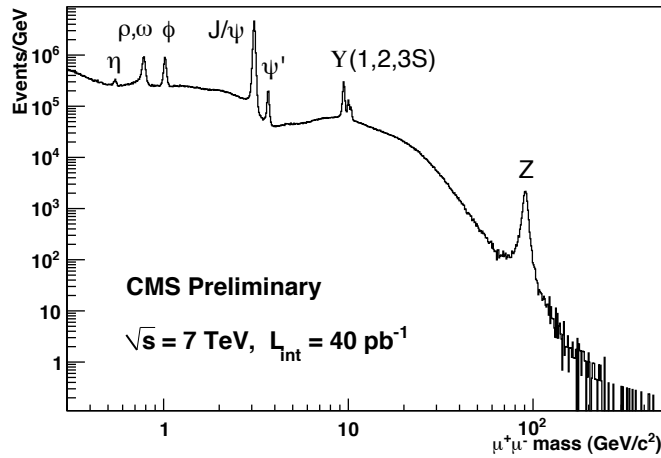
Détecteur	Résolution	Couverture
Tracker	$\sigma(p_T)/p_T \sim 1.5\%p_T + 0.005$	$ \eta < 2.4$
Ecal	$\sigma(E)/E \sim 3\%/\sqrt{E} + 0.003$	$ \eta < 3$
Hcal	$\sigma(E)/E \sim 100\%/\sqrt{E} + 0.05 \text{ GeV}$	$ \eta < 3 \text{ (b)} / 5 \text{ (f)}$
Muon	$\sigma(p_T)/p_T \sim 1-10\%p_T$	$ \eta < 2.4$

Ingrédients pour la physique du top

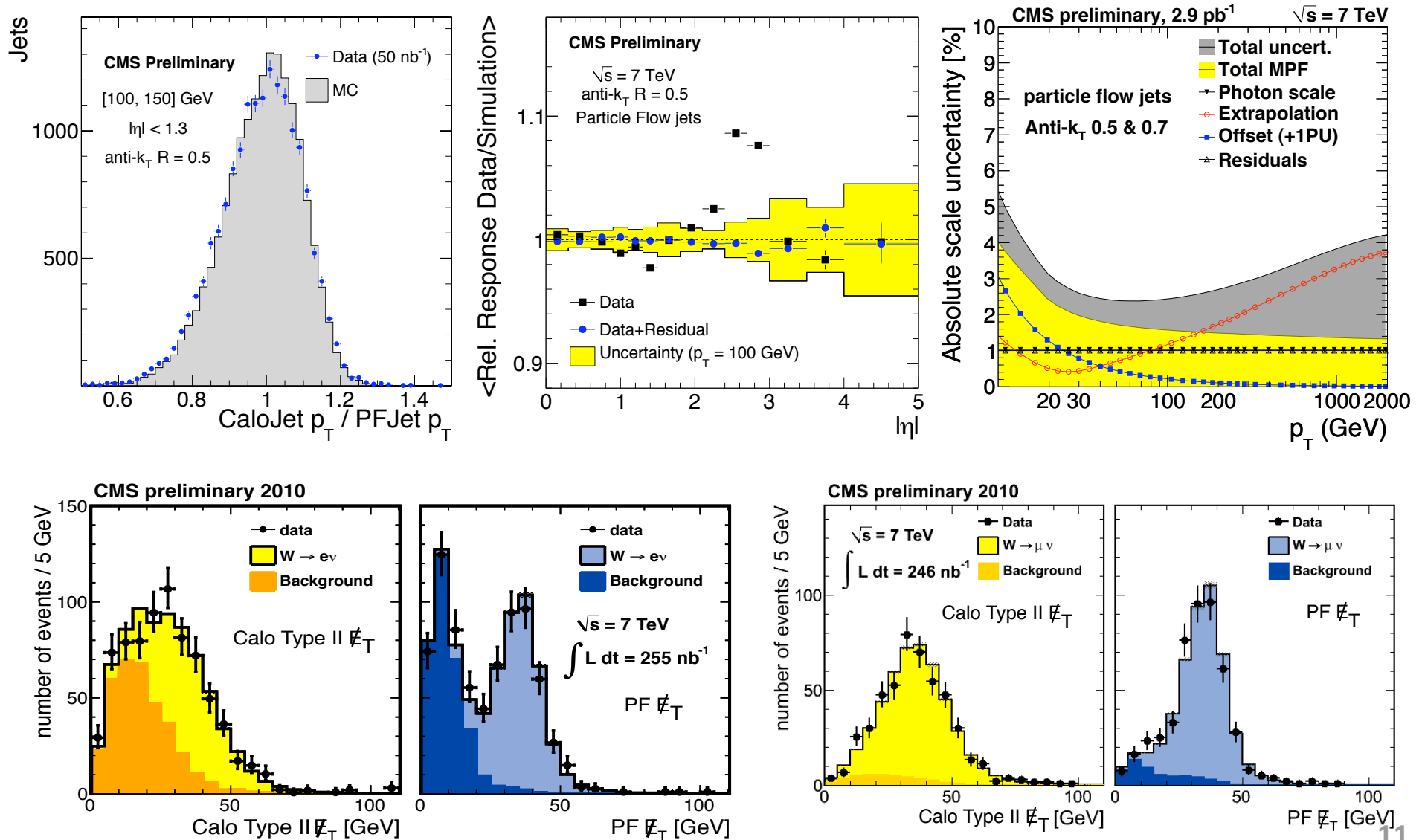
- Instrument important pour la compréhension des premières données
- Quasiment tous les objets interviennent: états finaux avec leptons, jets, MET
 - isolation et identification des leptons
 - reconstruction et résolution des jets
 - résolution et mesure de l'énergie manquante
 - étiquetage des jets b
- Focus sur les méthodes «data driven» pour évaluer les fonds et les efficacités



Les leptons

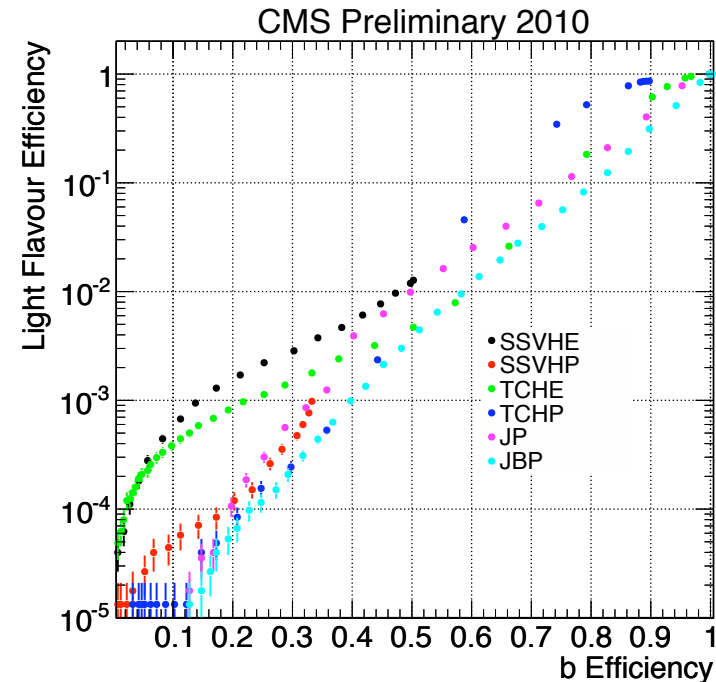
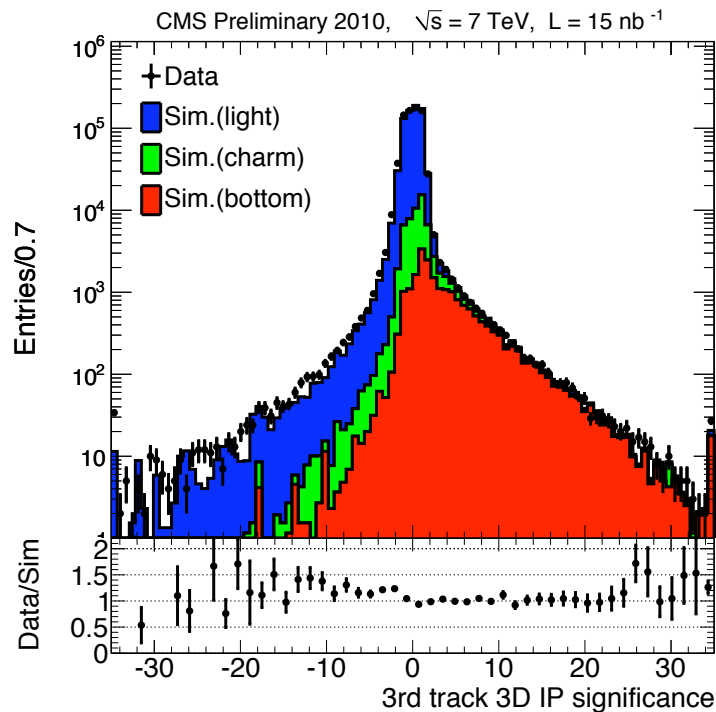


Les jets et l'énergie manquante



Étiquetage des jets b

PAS BTV-10-001



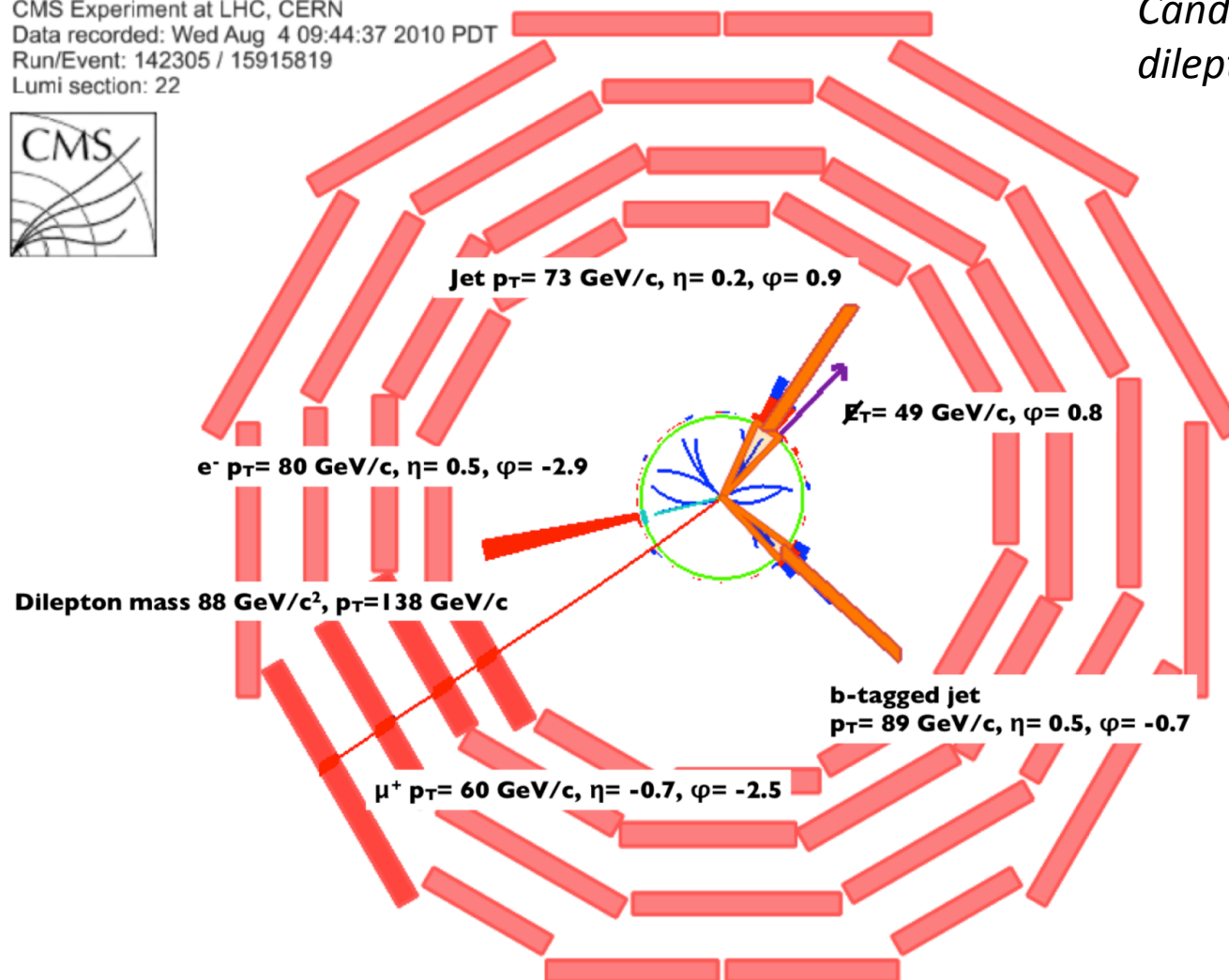
- Plusieurs algorithmes disponibles, à choisir selon le niveau d'efficacité et rejet des fonds désiré
 - vertex secondaire
 - signifiante du paramètre d'impact
 - leptons dans les jets

Quelque évènement intéressant

CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Wed Aug 4 09:44:37 2010 PDT
Run/Event: 142305 / 15915819
Lumi section: 22



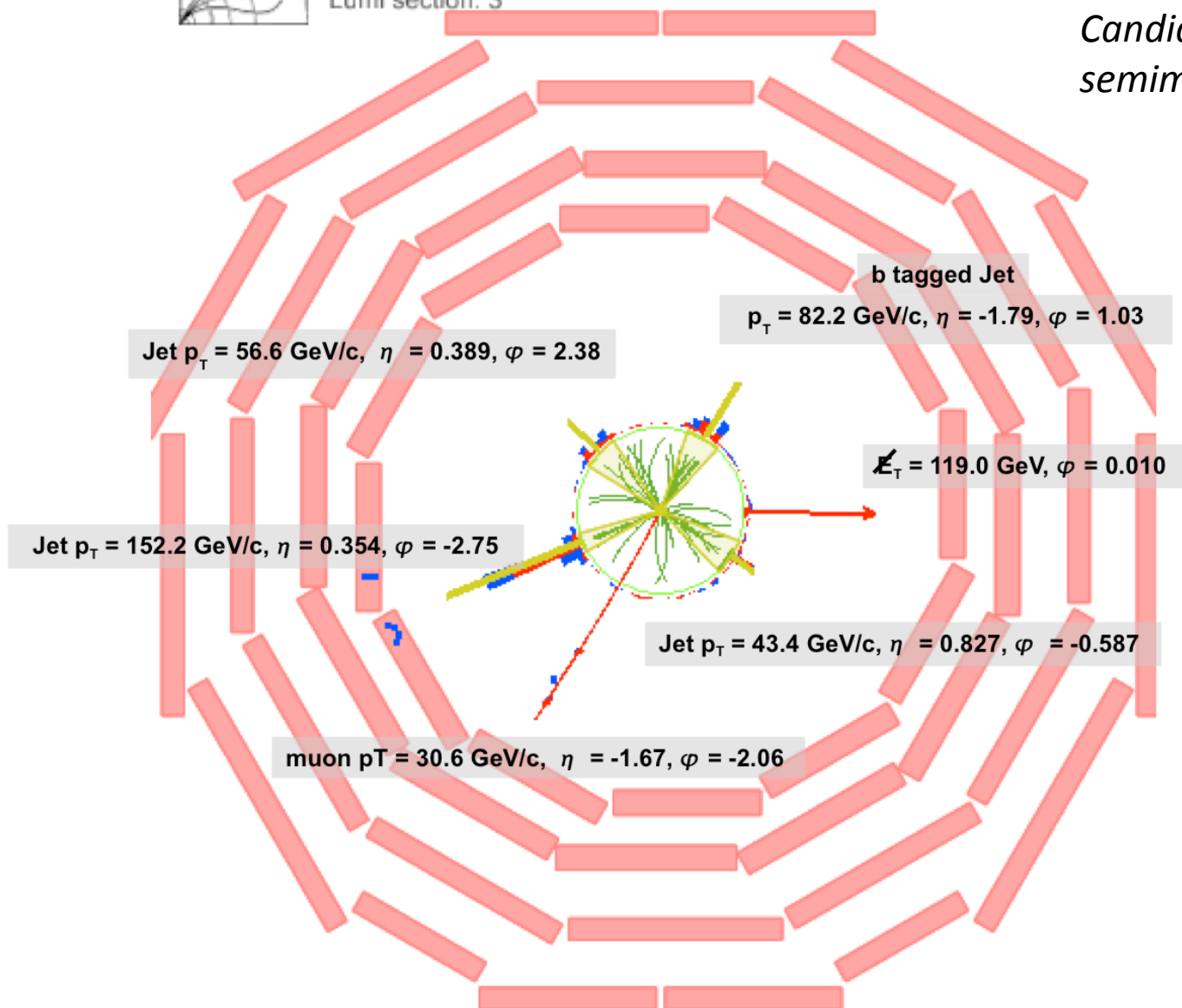
*Candidat $t\bar{t}$
dileptonique ($e\mu$)*





CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Wed Jul 14 03:32:41 2010 CEST
Run/Event: 140124 / 1749068
Lumi section: 3

*Candidat $t\bar{t}$
semimuonique*

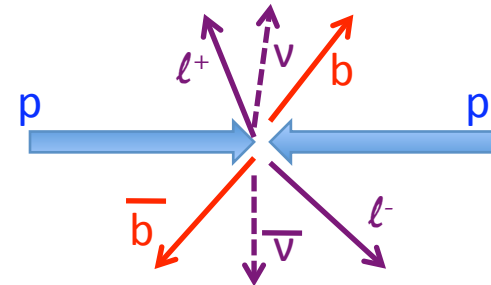


Mesure de la section efficace de production de paires $t\bar{t}$

- Mesure avec le canal dileptonique avec 3.1/pb
Phys. Lett. B 695, 424 (2011)
- Mesure avec le canal semileptonique avec 0.84/pb
CMS-PAS TOP-10-004
- D'autres résultats, utilisant la totalité des données du 2010, sont en cours de finalisation pour la présentation aux conférences d'hiver

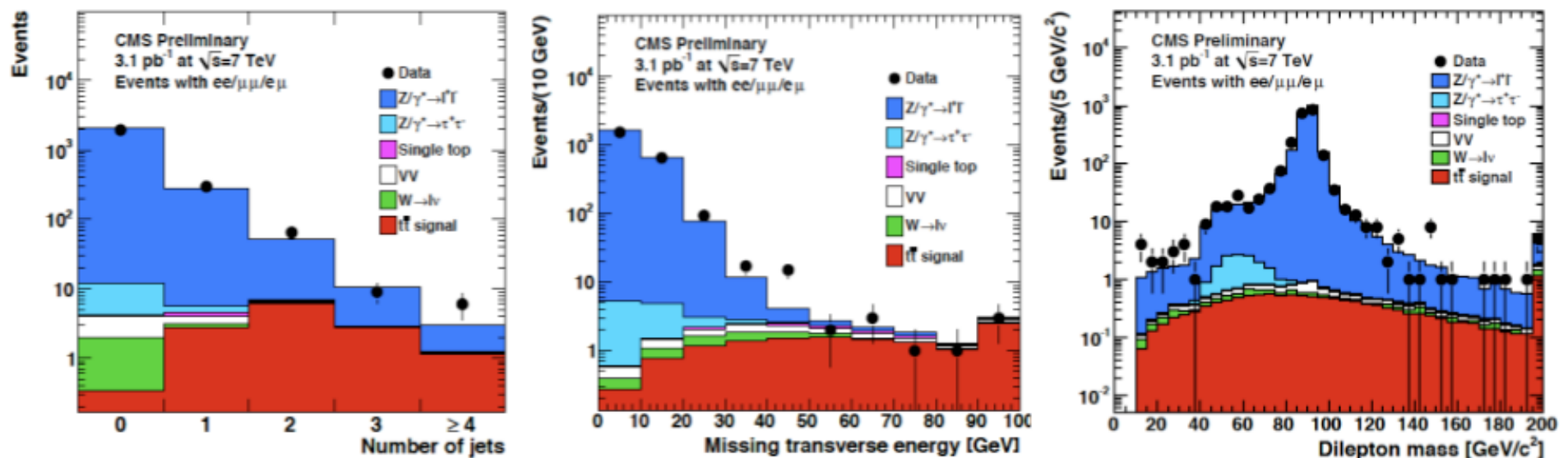
Le canal dileptonique

- Canaux ee , $e\mu$, $\mu\mu$
- Le taux de production inferieur ($\sim 6\%$) est compensé par un fonds plus bas
- Sélection des évènements
 - Deux leptons chargés avec charge opposée, isolé et avec $p_T > 20 \text{ GeV}/c$ et $|\eta| < 2.5$
 - Au moins deux jets avec $p_T > 30 \text{ GeV}/c$
 - $\text{MET} > 30 \text{ GeV}$ pour $ee/\mu\mu$; > 20 pour $e\mu$
 - Veto $Z \rightarrow ee/\mu\mu$
- Estimation des fonds à partir des données
 - QCD: leptons issus des désintégrations des mésons K/π et faux leptons
 - Paires Drell-Yan: normalisées aux paires proches du pic du Z
- Les autres fonds (di-bosons, top célibataire, $DY \rightarrow \tau\tau$) estimés sur les MC



Quelque variable discriminante

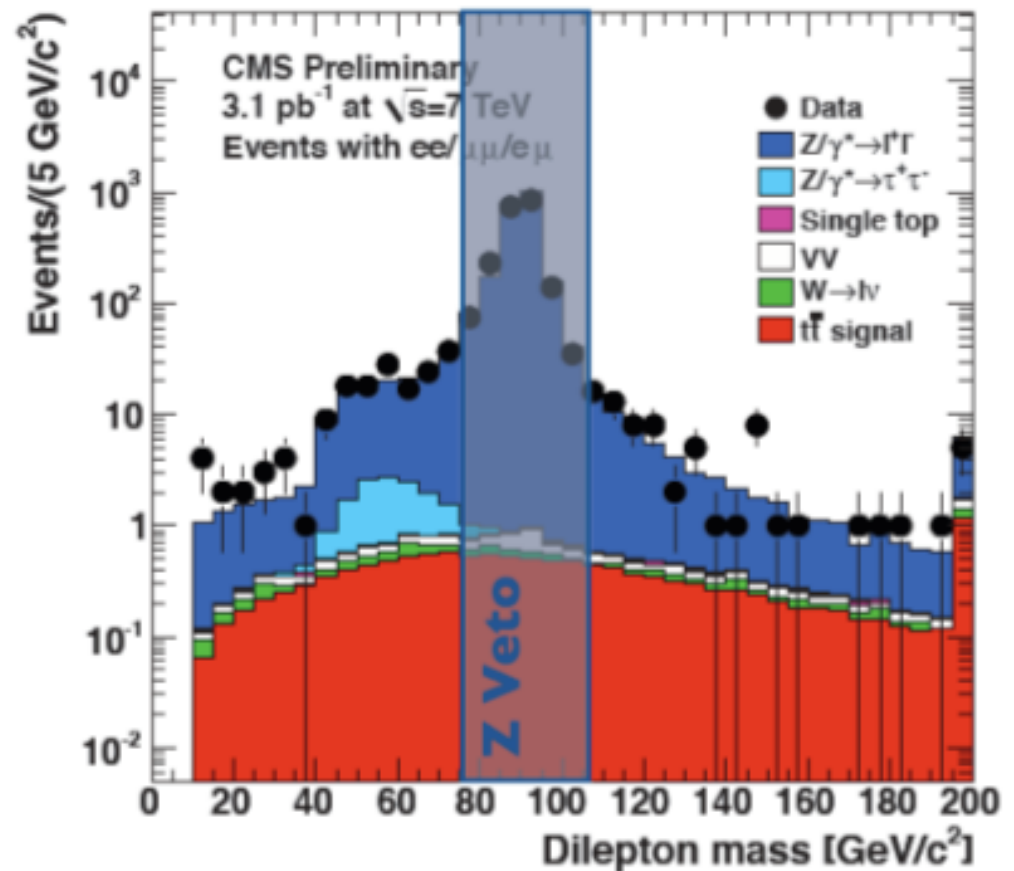
- Après la requête de deux leptons de charge opposée et isolés:



- Très bon accord données/MC, avec quelque petite différence
 - amélioration du modèle (interactions multiples)
 - prise en compte grâce à la normalisation des fonds utilisant le pic du Z.

Estimation des fonds DY avec les données

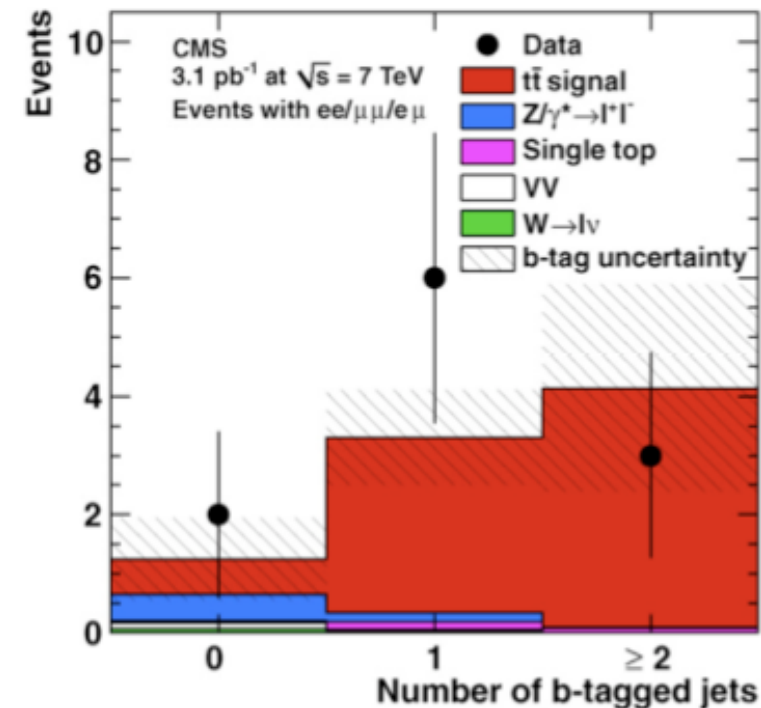
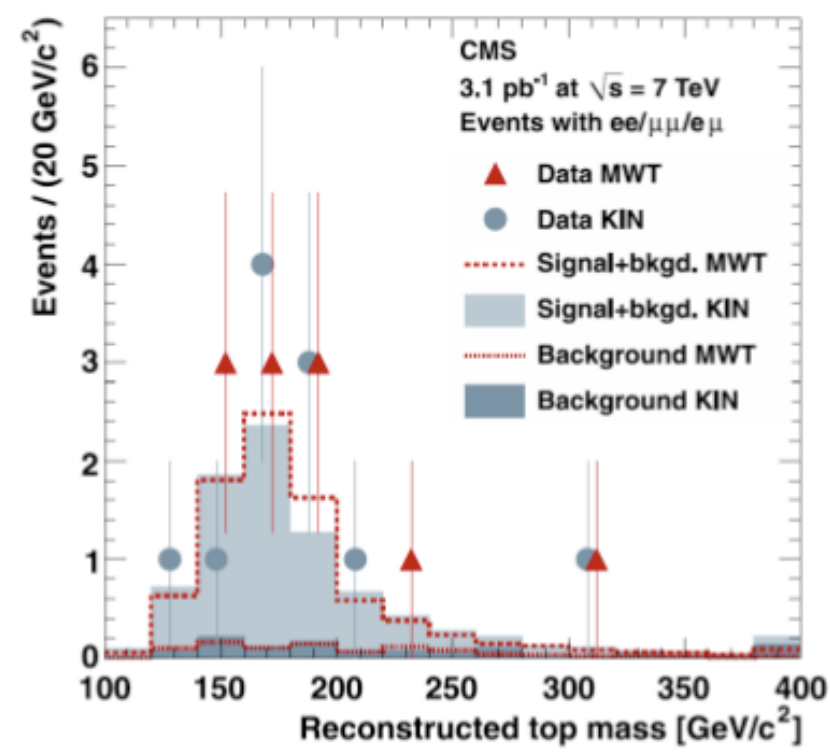
- Veto région $|m(l^+l^-) - 91 \text{ GeV}| < 15 \text{ GeV}$
- Fond résiduel à l'extérieur de la région du veto estimé à partir de la région vetée en utilisant la proportion observée sur le MC
- Contribution non DY prise en compte en utilisant les événements $e\mu$
- DY $\rightarrow \tau\tau$ estimé séparément sur le MC



Fond de leptons non W/Z

- Principalement du à des jets identifiés comme leptons
 - QCD: deux jets faux
 - W+jets: un lepton vrai et un lepton faux
- Fond estimé à partir des données
 - Taux de faux mesuré sur un échantillon dominé par multi-jets
 - Détermination de combien de jets sont identifiés comme des bons « leptons » isolés
 - Identification de régions de contrôle sur les données: événements dileptoniques passant toutes les coupures sauf l'identification et l'isolation des leptons
 - Application du taux de faux aux régions de contrôle pour prédire le fond dans la région de signal

- Efficacité = $(23.0 \pm 1.4)\%$
- 11 évènements passent la sélection: 3 ee, 3 $\mu\mu$, 5 $e\mu$
- Fond attendu 2.1 ± 1.0



Processus	N. évènements
Signal	7.7±1.5
Dibosons	0.13±0.07
Top célibataire	0.25±0.13
DY -> $\tau\tau$	0.18±0.09
DY autres	1.4±0.7
Non W/Z	0.1±0.6
Total fonds	2.1±1.0
Total signal+fonds	9.8±1.8
Observés dans les données	11

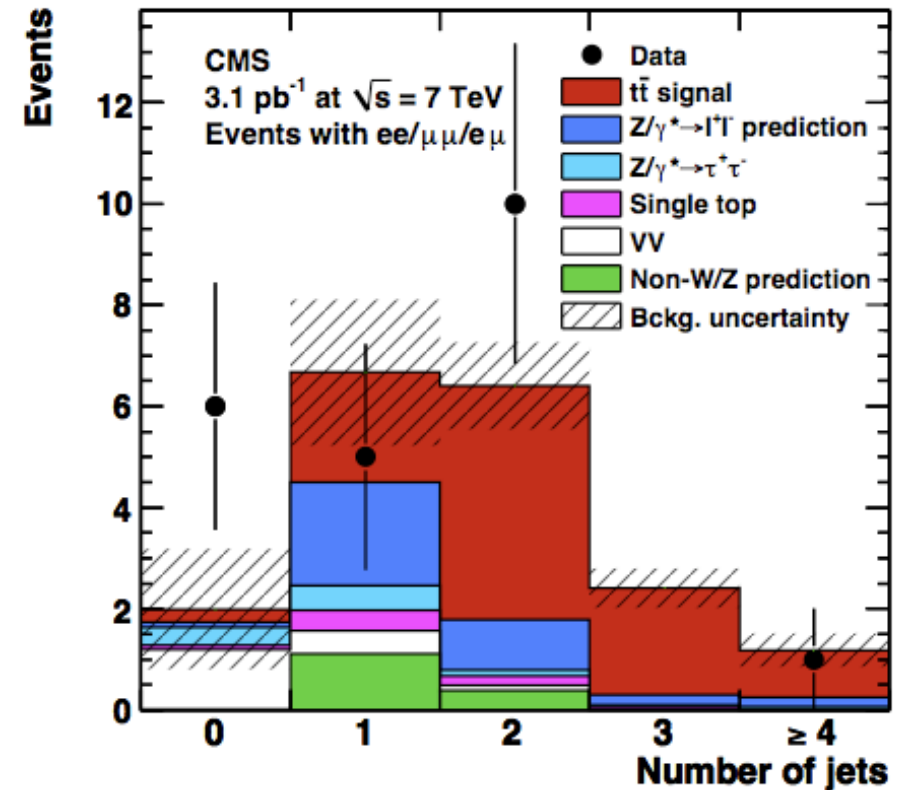
Source	Incertitude
Sélection des leptons	4.4%
Echelle d'énergie des jets	3.7%
ISR/FSR	1%
Modèle de la désintégration	2%
Rapport de branchement	1.7%
Estimation des fonds	15%
Luminosité	11%

- Nouvelle mesure avec 36/pb en phase de finalisation pour la présentation aux conférences d'hiver

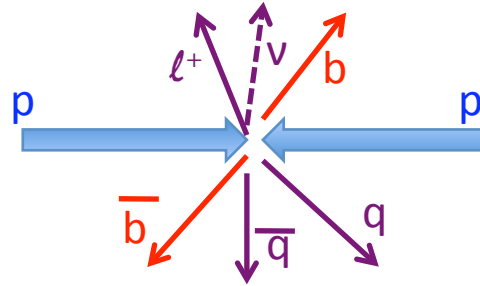
Section efficace:

$$\sigma(pp \rightarrow t\bar{t} + X) = (194 \pm 72(\text{stat}) \pm 24(\text{syst}) \pm 21(\text{lumi})) \text{ pb}$$

- La plupart des systématiques diminueront en augmentant la statistique, par exemple l'estimation des fonds

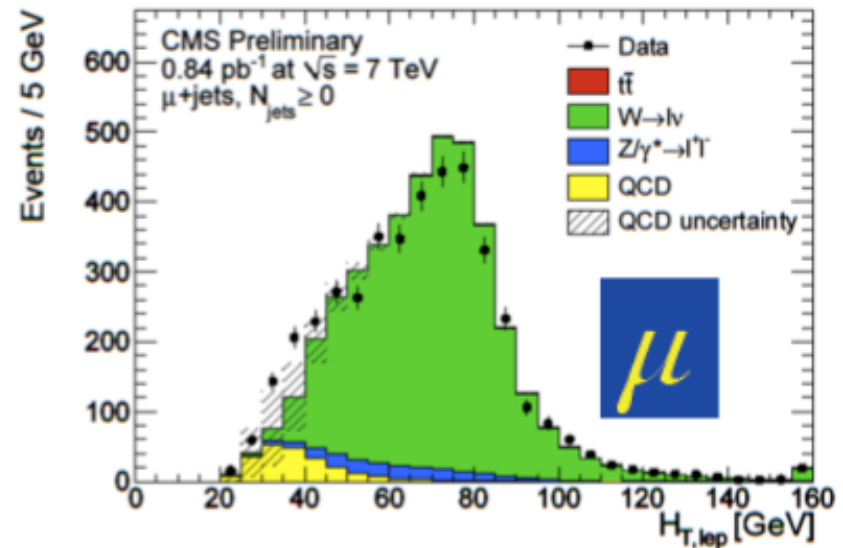
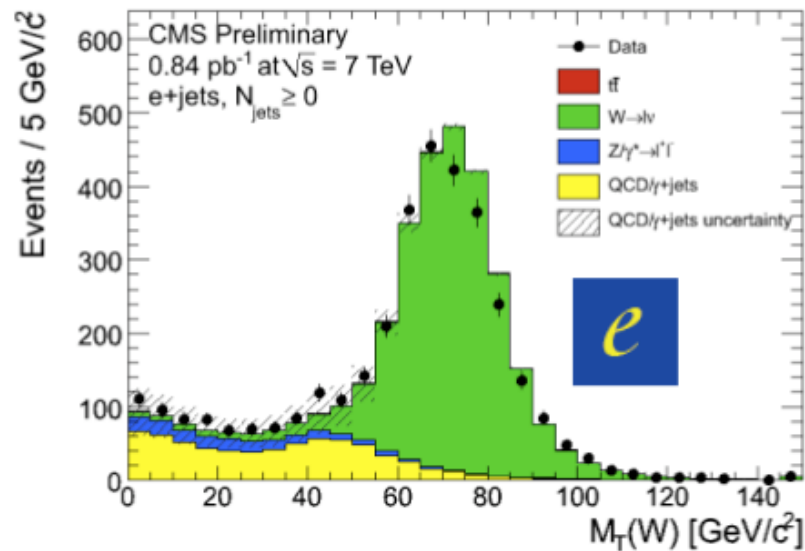
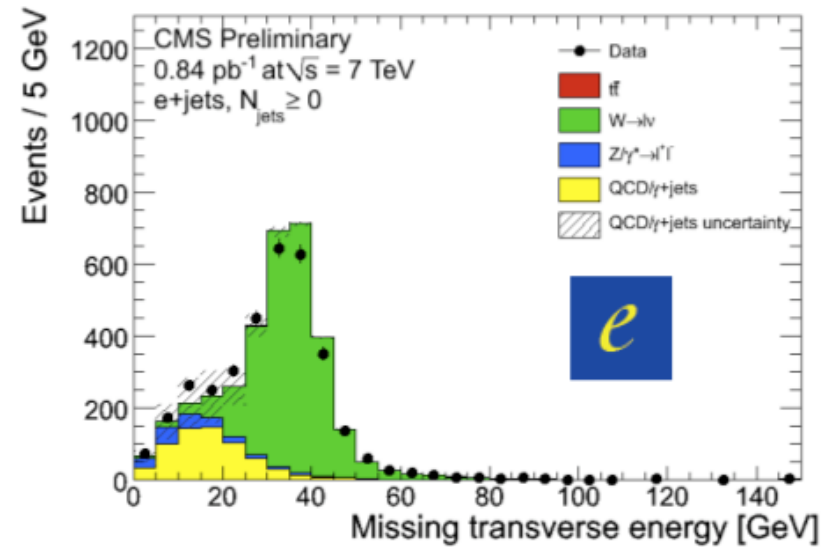
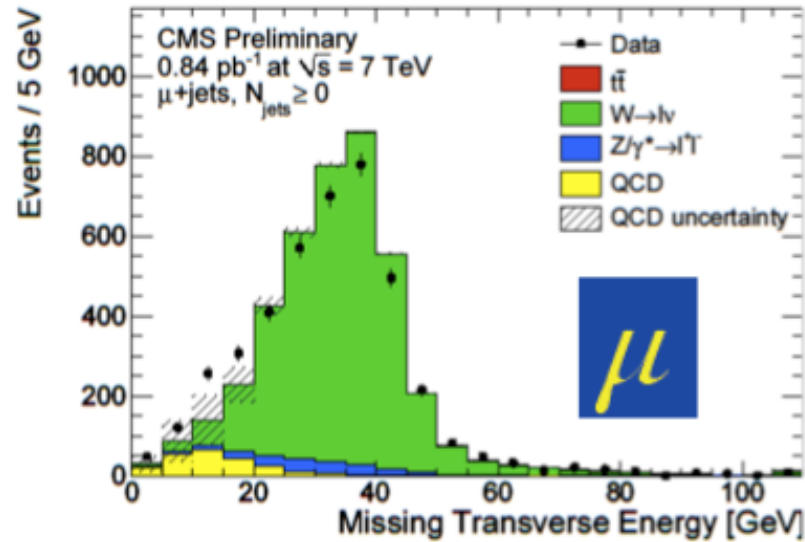


Canal semileptonique



- e+jets et μ +jets
- Exactement un lepton identifié et isolé. Muons $p_T > 20 \text{ GeV}/c$ et $|\eta| < 2.1$. Electrons: $p_T > 30 \text{ GeV}/c$ et $|\eta| < 2.5$
- Au moins 4 jets avec $p_T > 30 \text{ GeV}/c$ et $|\eta| < 2.4$
- Première version de l'analyse: pas de coupures sur MET et b -tagging
 - Coupures sur MET et b -tagging régulièrement utilisées maintenant

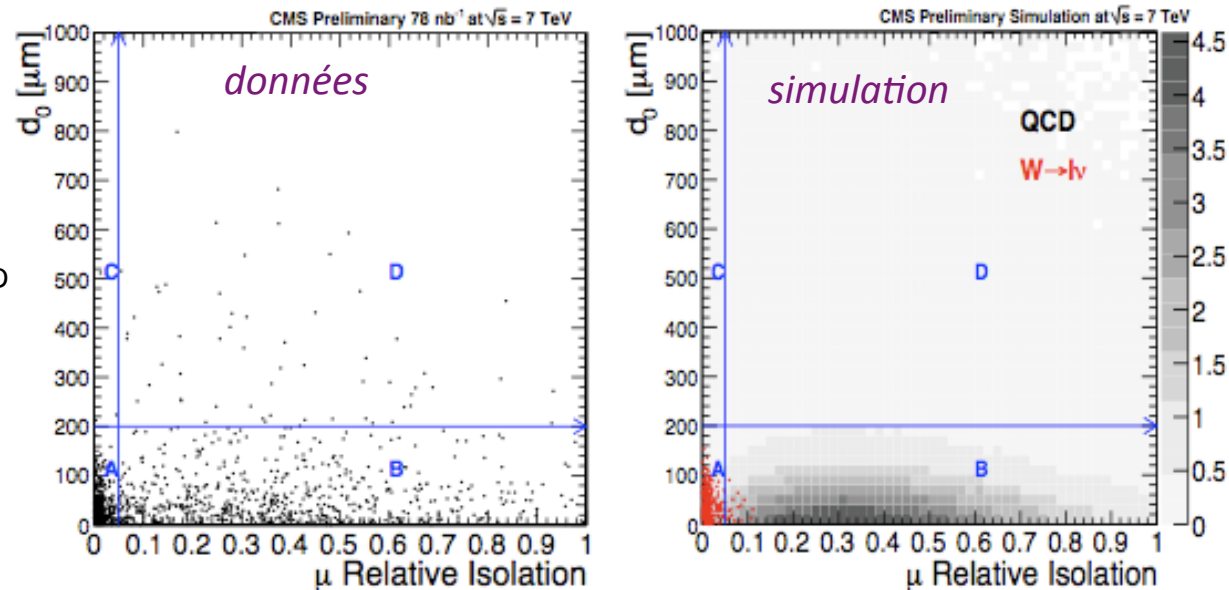
Accord données-MC



Estimation du fond QCD

- Plusieurs méthodes pour estimer le fond QCD à partir des données ont été mises en place
 - Méthode ABCD: utilisation de deux variables non corrélées. Incertitude sur le numéro d'évènements QCD $\sim 50\%$

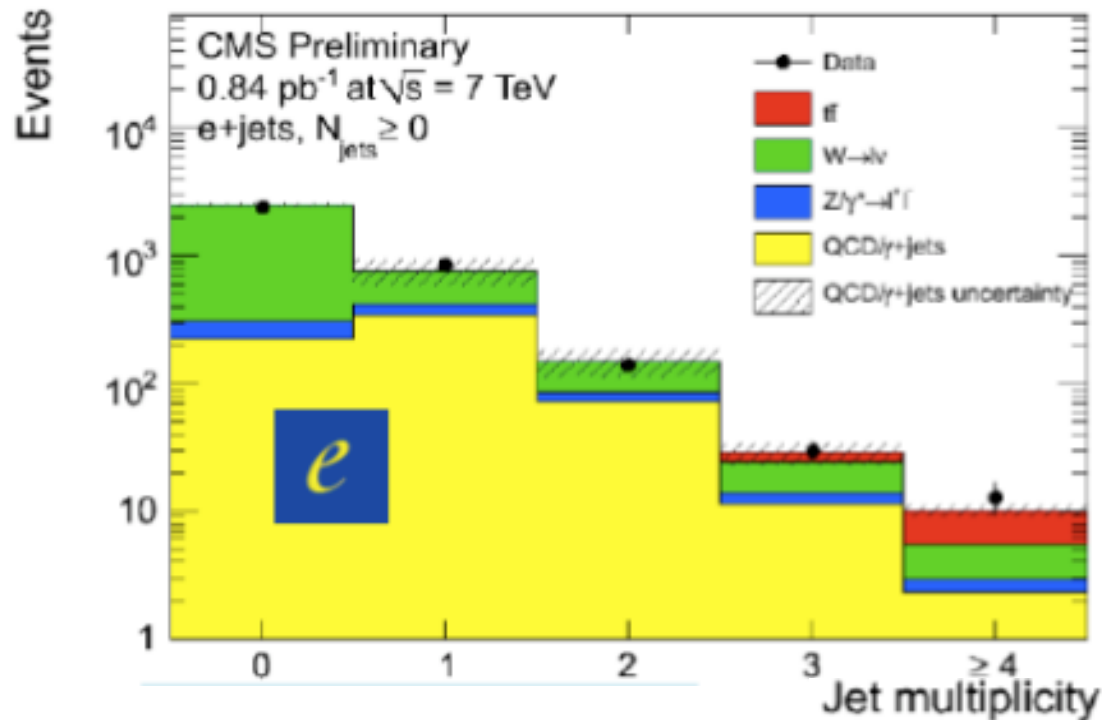
$$N_A/N_B = N_C/N_D$$



- Extrapolations utilisant la variable d'isolation ou les distributions de l'énergie manquante et de $H_{T,lep}$ (somme scalaire de l' E_T du lepton et de l'énergie manquante)

Electron+jets

Jet multiplicity	ttbar	single top	W+jets	Z+jets	QCD	Sum MC	Data
$N_{\text{jets}} \geq 0$	12 ± 2	3.4 ± 0.4	2619 ± 317	180 ± 21	658 ± 73	3472 ± 326	3434
$N_{\text{jets}} \geq 1$	12 ± 2	3.1 ± 0.4	419 ± 77	92 ± 11	436 ± 62	962 ± 99	1022
$N_{\text{jets}} \geq 2$	11 ± 2	1.9 ± 0.3	74 ± 18	19 ± 5	85 ± 22	191 ± 29	183
$N_{\text{jets}} \geq 3$	8.9 ± 1.8	0.70 ± 0.14	13 ± 4	3.3 ± 1.0	14 ± 5	40 ± 7	43
$N_{\text{jets}} \geq 4$	4.8 ± 1.2	0.21 ± 0.06	2.6 ± 1.1	0.60 ± 0.23	2.3 ± 1.1	11 ± 2	13

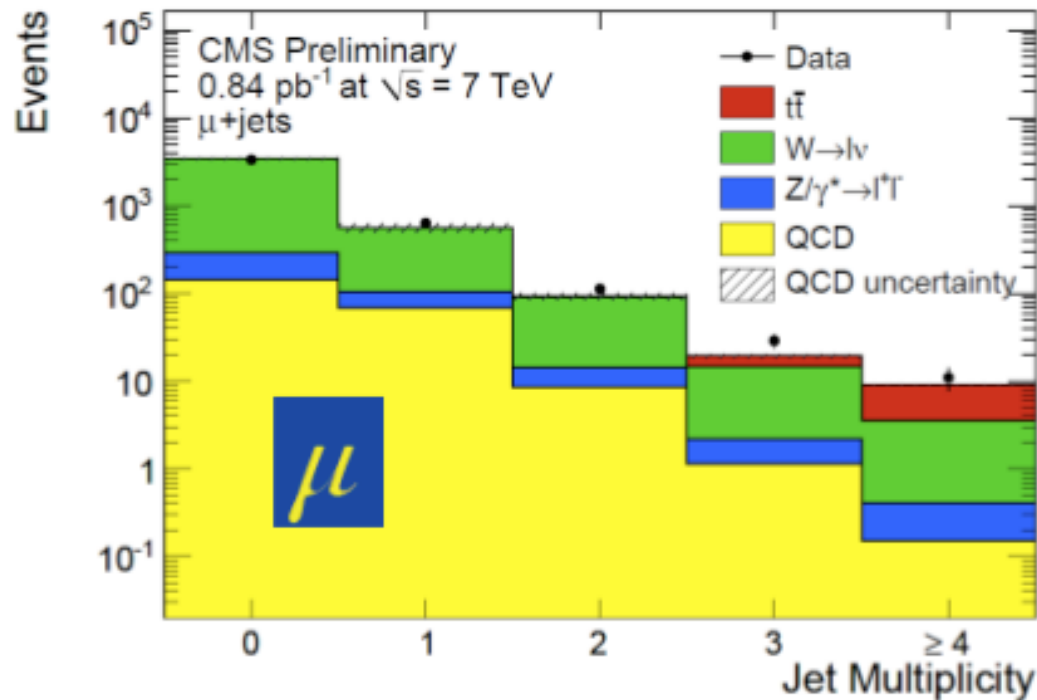


- Incertitude sur le numéro d'évènements prévus

- Echelle d'énergie des jets (10%)
- Luminosité (11%)
- Sections efficaces

Muon+jets

Jet multiplicity	$t\bar{t}$	single top	W+jets	Z+jets	QCD	Sum MC	Data
$N_{\text{jets}} \geq 0$	13 ± 3	4.2 ± 0.4	3708 ± 448	192 ± 29	223 ± 25	4140 ± 450	4142
$N_{\text{jets}} \geq 1$	13 ± 3	3.9 ± 0.4	552 ± 106	42 ± 12	79 ± 17	690 ± 108	789
$N_{\text{jets}} \geq 2$	13 ± 2	2.3 ± 0.3	92 ± 24	7.1 ± 4.4	10 ± 3	124 ± 25	153
$N_{\text{jets}} \geq 3$	10 ± 2	0.82 ± 0.15	16 ± 5	1.3 ± 0.9	1.3 ± 0.5	29 ± 5	40
$N_{\text{jets}} \geq 4$	5.6 ± 1.4	0.24 ± 0.06	3.1 ± 1.2	0.25 ± 0.18	0.15 ± 0.07	9.3 ± 1.9	11

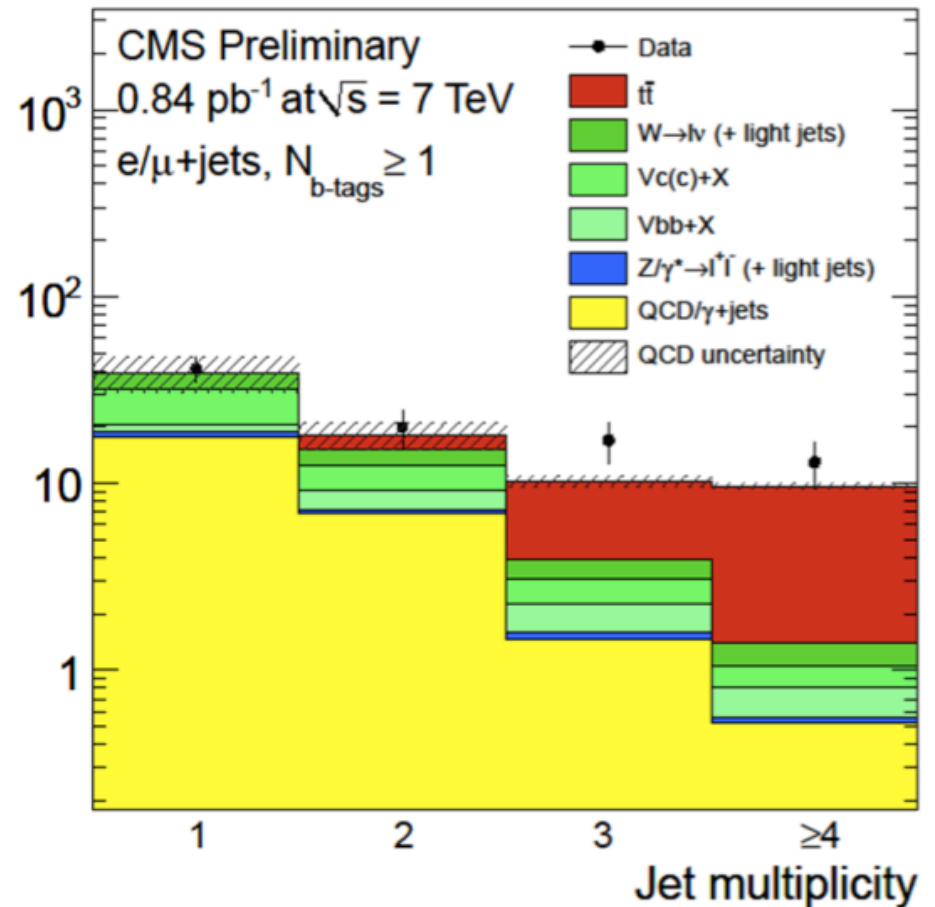


- Incertitude sur le numéro d'évènements prévus

- Echelle d'énergie des jets (10%)
- Luminosité (11%)
- Sections efficaces

Jets b

- Canaux semi-e et semi- μ combinés
- Utilisation d'un algorithme d'étiquetage des b avec efficacité de 81% et taux de faux de 10%
- Parmi les évènements avec au moins 3 jets:
 - 30 évènements observés
 - Fond attendu 5.3
 - Signal attendu 15



Perspectives à court terme

- Beaucoup de nouveaux résultats sont en cours de finalisation pour les conférences d'hiver
- Utilisation de l'ensemble de données à 7 TeV (36.15/pb) :
 - Mesure de la section efficace inclusive avec les canaux dileptoniques et semileptoniques (avec et sans b -tagging)
 - Mesure de la masse du top avec les canaux dileptoniques et semileptoniques
 - Spectre de masse des paires $t\bar{t}$ avec le canal semileptonique
 - Asymétrie de charge avec le canal semileptonique
 - Recherche de tops célibataires dans le canal t

... et à plus long terme

- Avec plus de statistique (1/fb de données attendues durant le 2011)
 - Section efficace de production de paires $t\bar{t}$:
 - inclusion des canaux dileptoniques et semileptonique avec les τ et du canal hadronique pour la mesure de la section efficace et de la masse du top
 - Sections efficaces différentielles
 - Propriétés du top:
 - Mesure de la masse et de la différence de masse entre top et antitop
 - Hélicité du W
 - Corrélations de spin
 - Largeur
 - Charge
 - FCNC dans les désintégrations
 - Couplage aux bosons
 - Top célibataire:
 - Section efficace aussi dans les canaux tW et s
 - Couplage anomal W - t - b
 - Toujours avec les yeux ouverts pour des déviations par rapport au MS, y compris des particules exotiques comme $W' \rightarrow t b$, $Z' \rightarrow t\bar{t}$

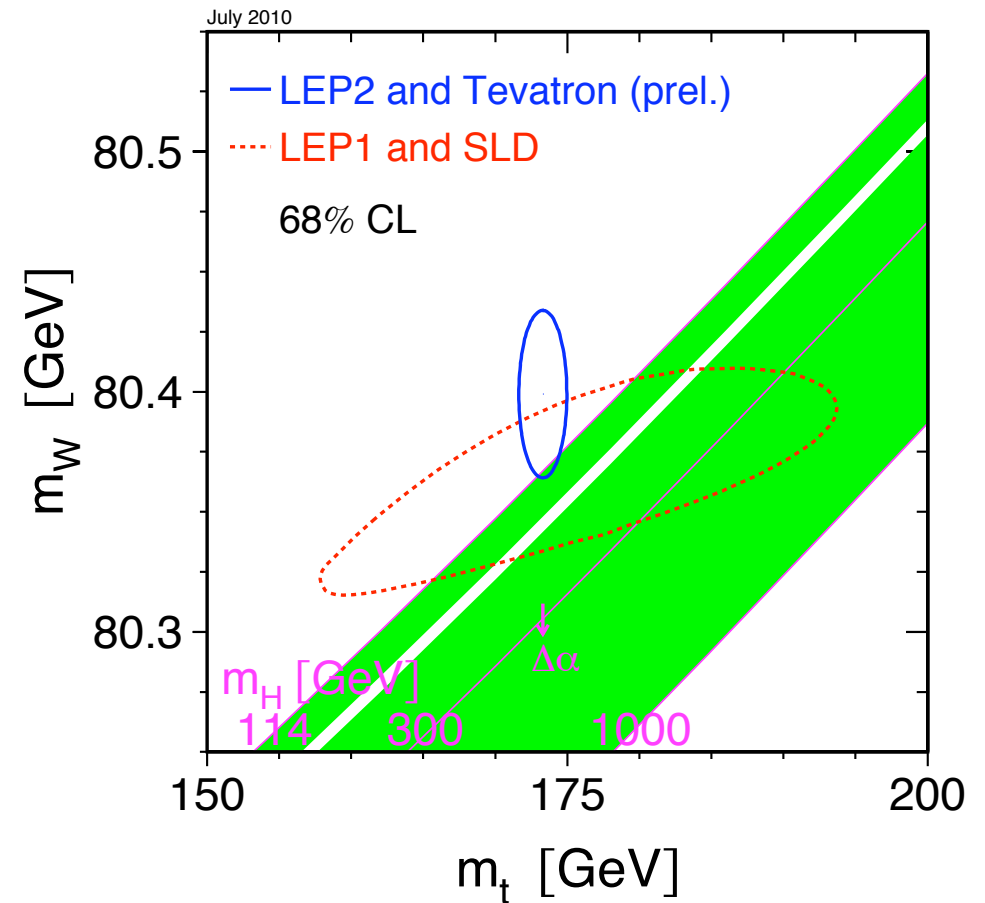
Asymétrie de charge

- Le MS prévoit une production symétrique (au LO) des paires $t\bar{t}$ du point de vue de la charge de couleur.
- De la NP peut modifier le schéma, par exemple si les paires sont issues de désintégrations de résonnances exotiques
- Le Tevatron (*) a une évidence d'asymétrie forward-backward:
 - CDF: $0.150 \pm 0.050 \pm 0.024$, D0: $0.08 \pm 0.04 \pm 0.01$
- A CMS on peut mesurer l'asymétrie en rapidité
- On s'attend une sensibilité compétitive avec le Tevatron avec $\sim 1/\text{fb}$ de données

(*) CDF note 10185, D0 note 6062

Masse du top

- Important ingrédient des tests du MS
- Le Tevatron (*) mesure la masse avec une précision de 0.6% : $(173.1 \pm 1.1) \text{ GeV}/c^2$
- CMS s'attends une sensibilité de $\sim 3\%$ avec le canal dileptonique avec les données courantes



(*) [arXiv:1007.3178](https://arxiv.org/abs/1007.3178)

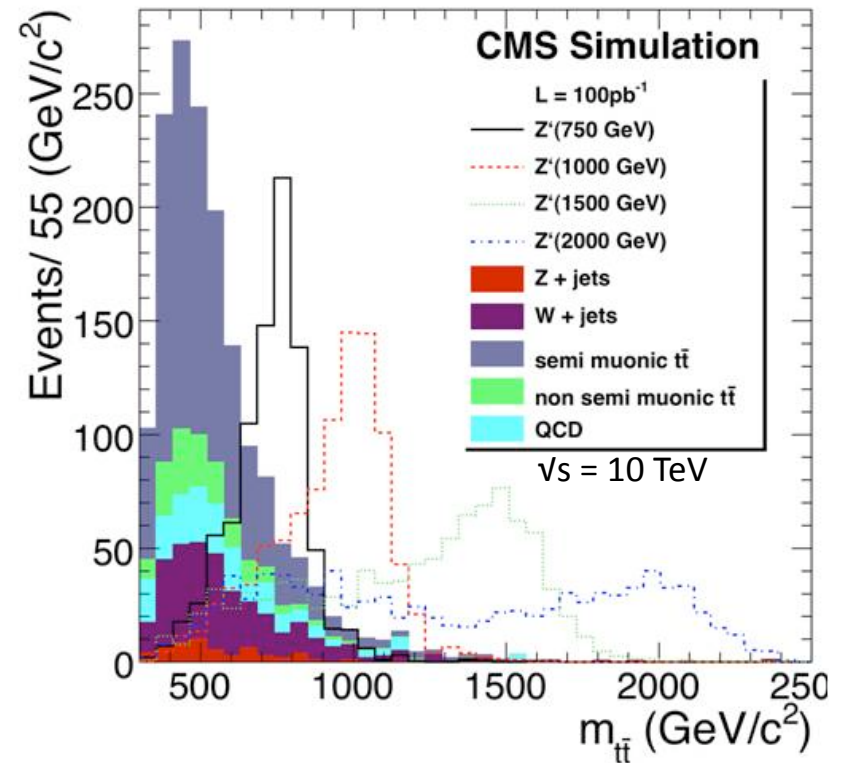
Corrélations de spin

- Temps de vie du top trop court pour un spin flip: corrélation de spin de la paire $t\bar{t}$.
- Dans le MS: $C \sim 0.777$ dans le référentiel des faisceaux, au NLO
- De la NP peut modifier le schéma
- CDF mesure un coefficient de corrélation de spin de $0.72 \pm 0.64 \pm 0.26$ et D0 $-0.17^{+0.64}_{-0.53}$ (*)
- Avec le canal semileptonique, CMS s'attend une sensibilité de $\sim 20\%$ avec 2/fb de données

(*) CDF note 10211, D0 note 5950

Spectre de masse $t\bar{t}$

- Des résonnances de NP (*) se désintégrant en $t\bar{t}$ peuvent modifier le spectre par rapport au MS
- CDF et D0 excluent des résonnances dans le modèle « top-color assisted technicolor » jusqu'à $820 \text{ GeV}/c^2$ (**)
- CMS peut tester des modèles avec Z' « top-color leptophobic » avec $\sim > 120 \text{ pb}$



(*) ex. hep-ph/9911288 (**) D0 note 5882

Conclusions

- Le LHC a commencé son aventure!
- Excellentes performances du détecteur de CMS et compréhension de tous les objets nécessaires pour la physique du top
- Environ 36/pb de données sont déjà disponibles. Le programme de la physique du top a démarré aussi !
 - Deux mesures de section efficace déjà publiées utilisant une partie des données
 - Plusieurs résultats utilisant l'entière statistique attendus très bientôt
- Le LHC fournira environ 1/fb de données dans le 2011
 - Le plus grand échantillon de quarks top !
- Beaucoup de résultats intéressants très prochainement !

Backup

LHC plans

Beam parameters	150 ns	75 ns	50 ns
Bunch intensity [e11 p/b]	1.2	1.2	1.2
Normalised Emittance [μm]	2.5	2.5	2.5
Colliding bunches	368*	936	1404

*assume 368 b as proven from 2010 - should be able to go to ~424 b

Baseline is 2E32 Peak and 1fb-1 (integrated)

Based on the experience of 2010, possibly more!

Do physics also in 2012 and postpone the long shutdown. Possibly increase of the c.o.m. energy during 2012

Fond dileptons

$$N_{\text{out}}^{ee,\text{data}} = R_{\text{out/in}}^{ee} \left(N_{\text{in}}^{ee,\text{data}} \right)$$

$$N_{\text{out}}^{ee,\text{data}} = R_{\text{out/in}}^{ee} \left(N_{\text{in}}^{ee,\text{data}} - 0.5 N_{\text{in}}^{e\mu,\text{data}} k_{ee} \right), \quad k_{ee} = \sqrt{\frac{N_{\text{in}}^{ee,\text{loose}}}{N_{\text{in}}^{\mu\mu,\text{loose}}}},$$

Sample	ID, ISO, Z-veto	with $N_{\text{jet}} \geq 1$	with $\cancel{E}_T$
<i>ee</i>			
DY in simulation	2.4 ± 0.7	0.41 ± 0.13	0.008 ± 0.002
DY estimate in data	$2.2 \pm 0.5 \pm 1.1$	$0.23 \pm 0.16 \pm 0.12$	$0.00^{+0.16}_{-0.00} {}^{+0.08}_{-0.00}$
<i>$\mu\mu$</i>			
DY in simulation	2.9 ± 0.7	0.48 ± 0.12	0.019 ± 0.005
DY estimate in data	$2.9 \pm 0.6 \pm 1.5$	$0.36 \pm 0.21 \pm 0.18$	$0.00^{+0.25}_{-0.00} {}^{+0.12}_{-0.00}$

Calibration des jets

$$R(\eta^{probe}, p_T^{dijet}) = \frac{2 + \langle B \rangle}{2 - \langle B \rangle} \quad B = \frac{p_T^{probe} - p_T^{barrel}}{p_T^{dijet}}$$

- MC response should ideally be ~ 1
- Deviations are due to a resolution bias effect intrinsic in the dijet balancing method.
 - Each reconstructed jet pt bin is contaminated with true jets of lower pt whose detector response fluctuated high
 - The effect is larger at larger eta
- Data agree well with simulation.
- A 10% deviation in data at high eta: this is due to higher single particle response in data:
 - corrected for by using residuals
 - residuals are defined as the difference between data and MC after extrapolating to 0 the third jet activity