

Séminaire



# Techniques d'estimation des bruits de fond pour les mesures des propriétés du quark top dans le canal dileptonique

**Marco CARDACI**  
IPHC, Strasbourg

France

Marco CARDACI

## Plan du séminaire

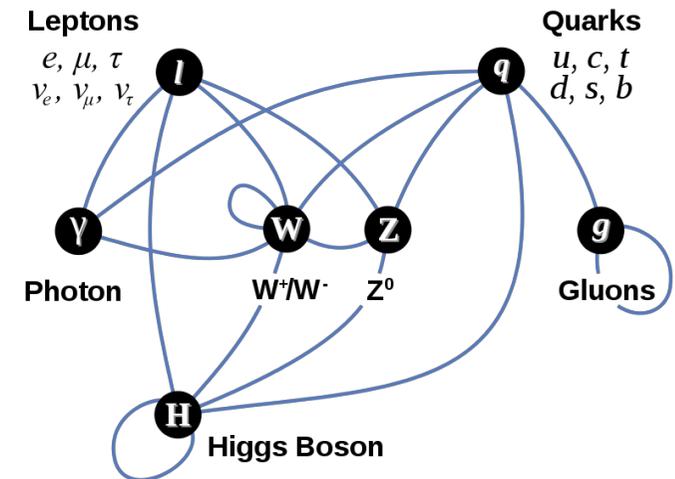
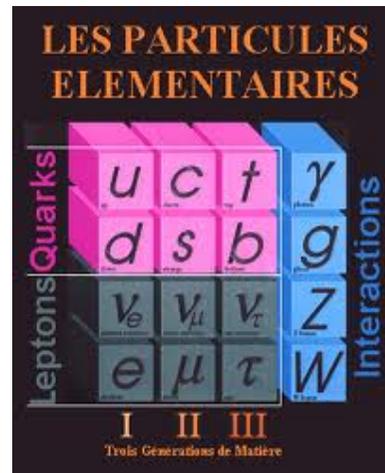
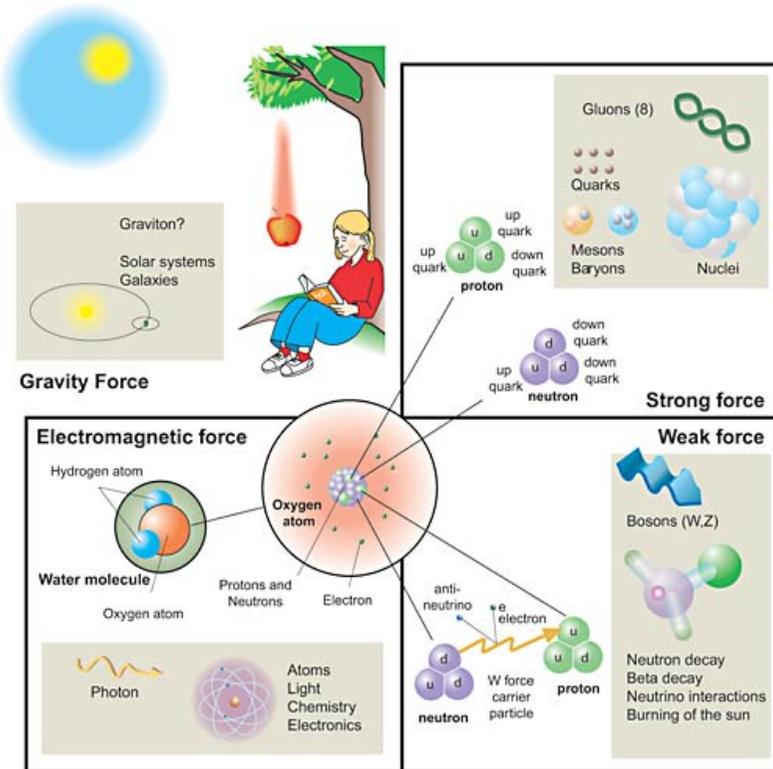
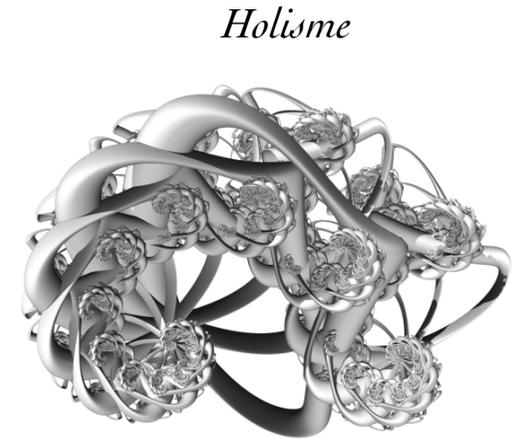
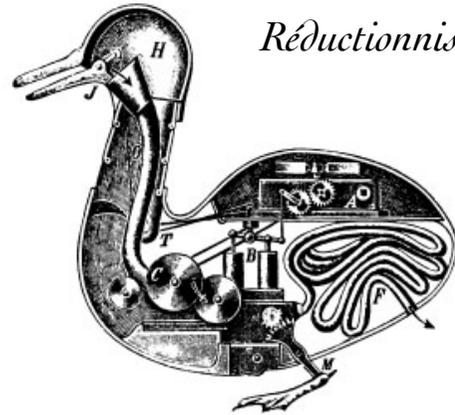
- Introduction
  - Le modèle standard
  - Le Grand collisionneur de hadrons: LHC
  - Le détecteur solénoïde compact à muon: CMS
- La paire de quarks top
  - La production
  - Les différents canaux de désintégration
  - Le canal dileptonique
- La mesure de la section efficace
  - Le comptage
  - Méthode d'estimation du DY hors pic
  - Méthode du taux de faux leptons
  - Méthode de la matrice
  - La mesure
- Les propriétés du quark top
  - Corrélation de spin
  - Asymétrie de charge
  - Polarisation du boson W

# Introduction

Marco CARDACI

# Le modèle standard

Un modèle qui nous conduira à la compréhension du « TOUT » (?)



# La physique fondamentale



Transistor inventé par de  
physiciens



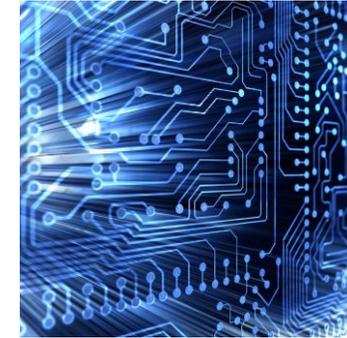
Découverte des  
ondes  
électromagnétiques



Inventé au CERN pour  
mettre en communication les  
physiciens



Découverte de  
la loi  
d'induction



Découverte de  
l'électron



Relativité

# Les questions irrésolues dans la physique des particules

Quel est la vraie nature de la brisure spontanée de symétrie?

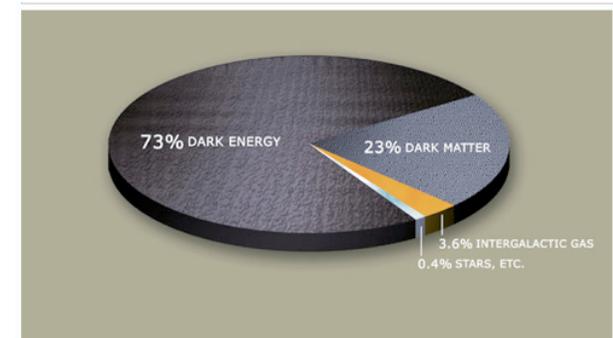
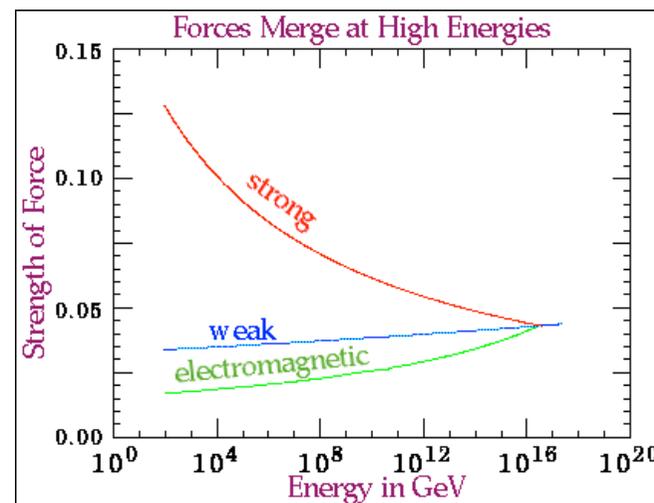
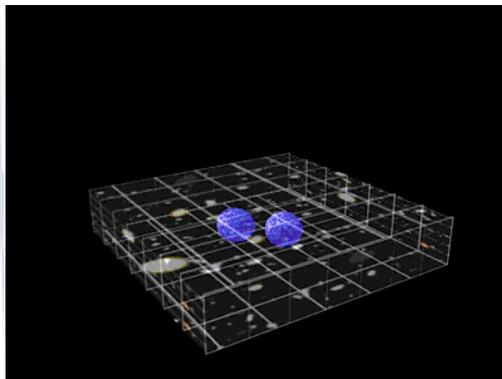
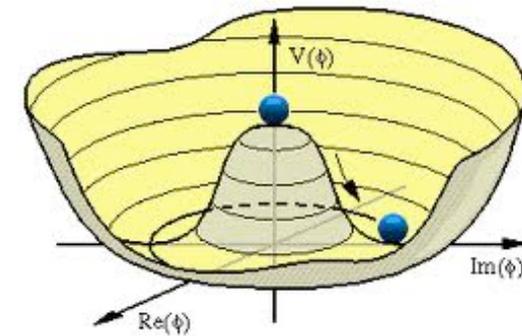
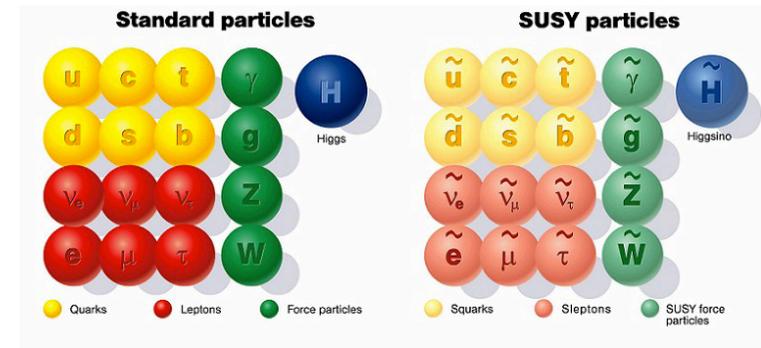
Pourquoi les quarks sont ils rangés par générations?

Pourquoi y a-t-il 6 saveurs de quarks?

Pourquoi il y a plusieurs interactions en nature?

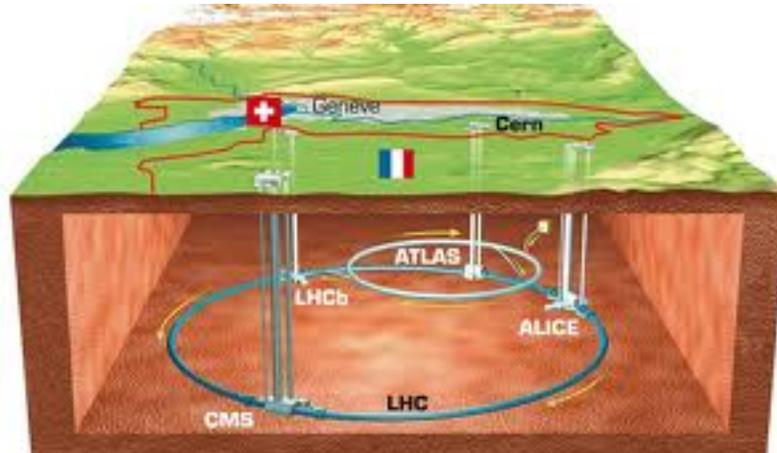
Est-ce que (et comment) on peut unifier la gravitation avec les autres interactions?

Pourquoi l'intensité de la gravitation est si faible par rapport à celle des autres interactions?



# Le LHC

Cout de environ 7.5 G€



## Nominalement:

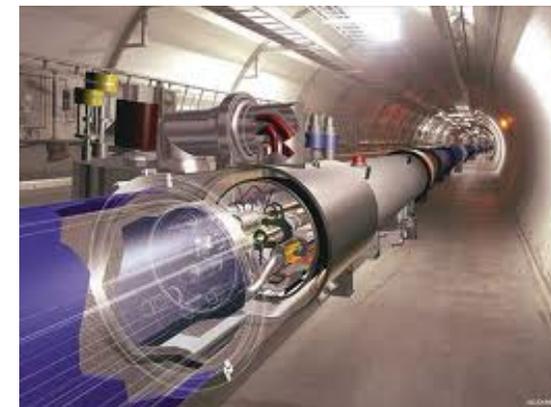
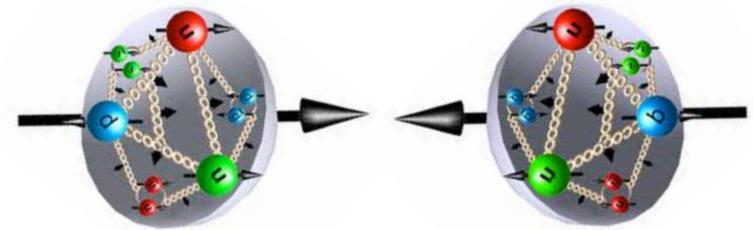
7 TeV / faisceau

25 ns d'espace entre les paquets

(de  $10^{11}$  protons) => 2835 paquets

$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  =>  $100 \text{ fb}^{-1} / \text{an}$

Collisionneur proton-proton



15 m de longueur / dipôle

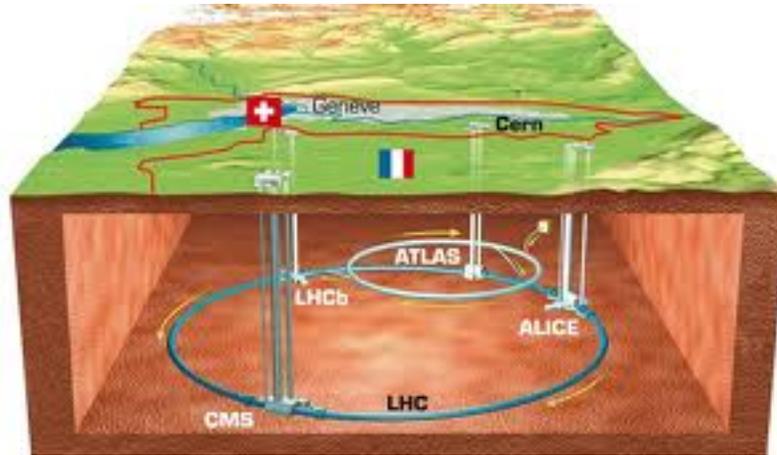
1232 dipôles / LHC

2 faisceaux séparés,

opérationnelles à 1.9 K

# Le LHC

Cout de environ 7.5 G€



## Nominalement:

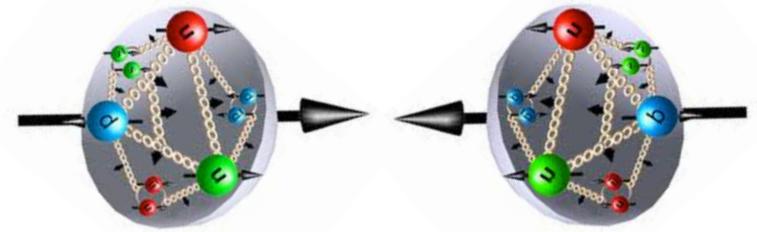
7 TeV / faisceau

25 ns d'espace entre les paquets

(de  $10^{11}$  protons) => 2835 paquets

$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  =>  $100 \text{ fb}^{-1} / \text{an}$

Collisionneur proton-proton



15 m de longueur / dipôle

1232 dipôles / LHC

2 faisceaux séparés,

opérationnelles à 1.9 K

# Le LHC

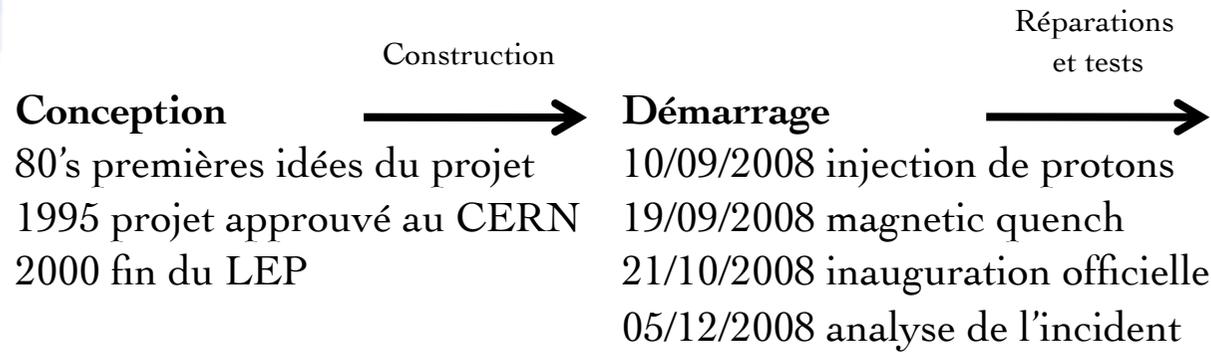
## Conception

80's premières idées du projet  
1995 projet approuvé au CERN  
2000 fin du LEP

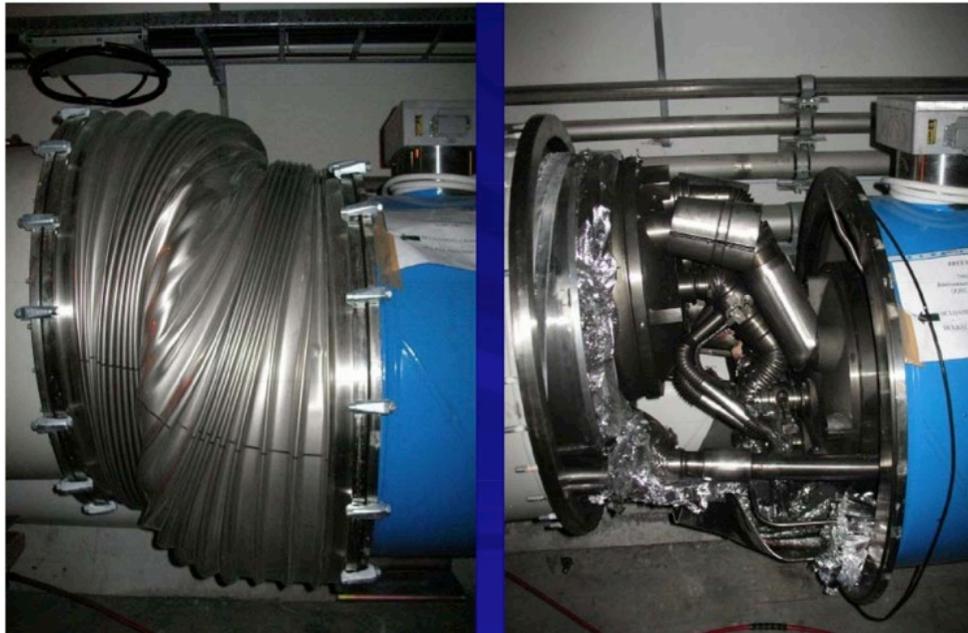
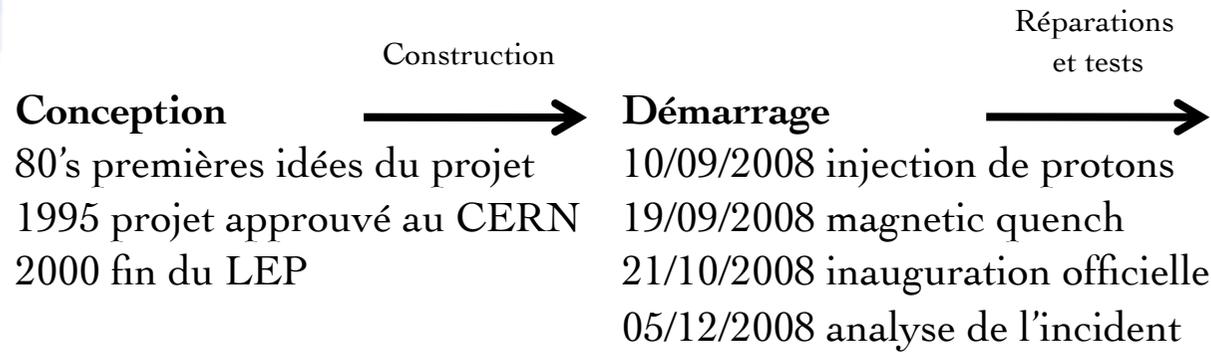
Construction



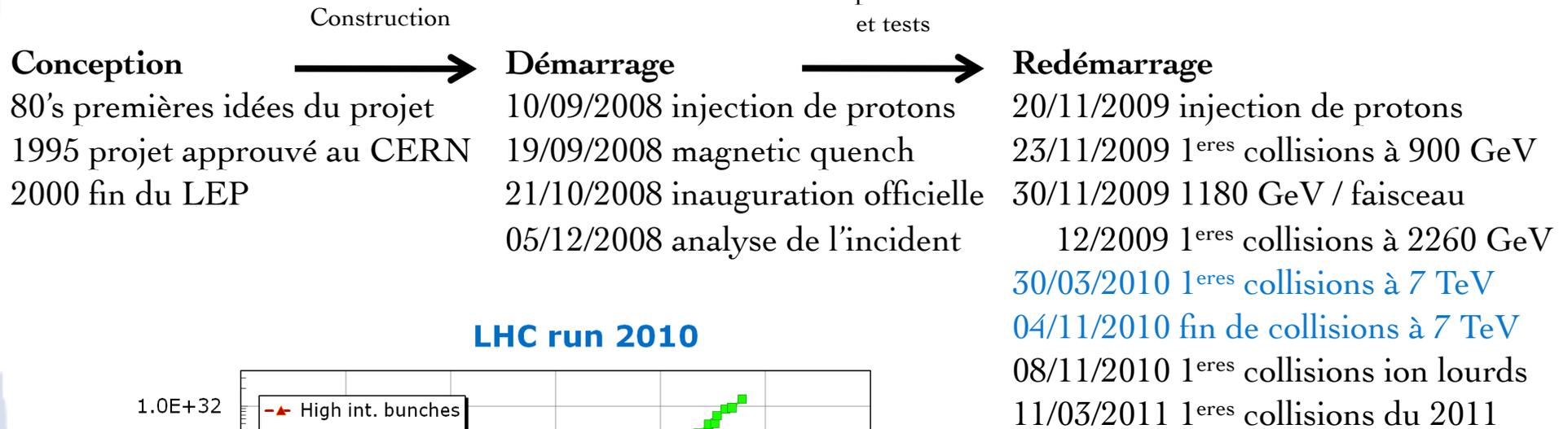
# Le LHC



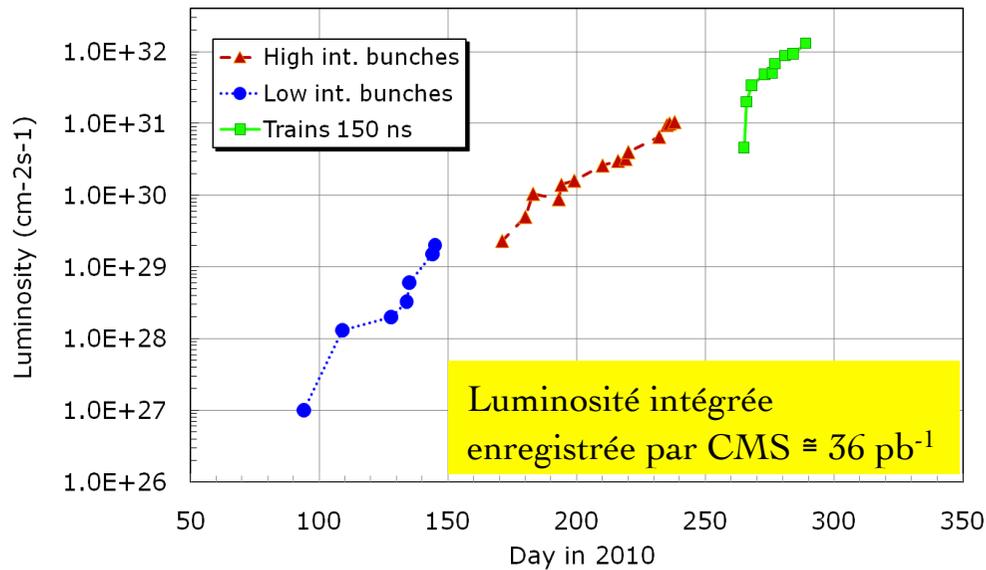
# Le LHC



# Le LHC

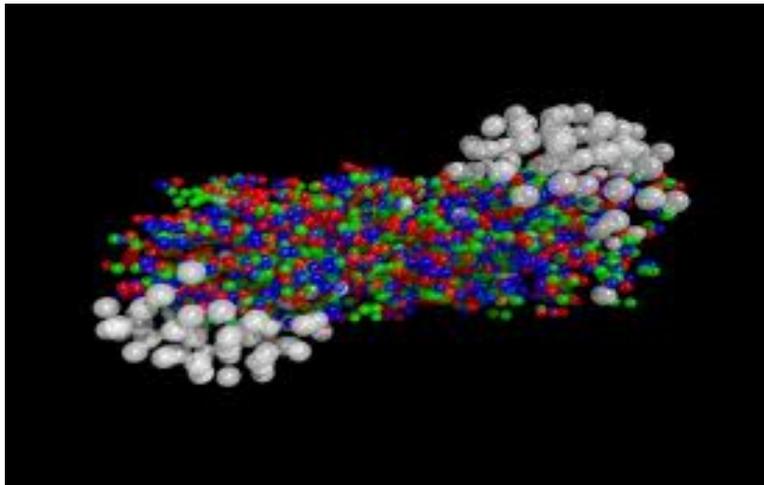
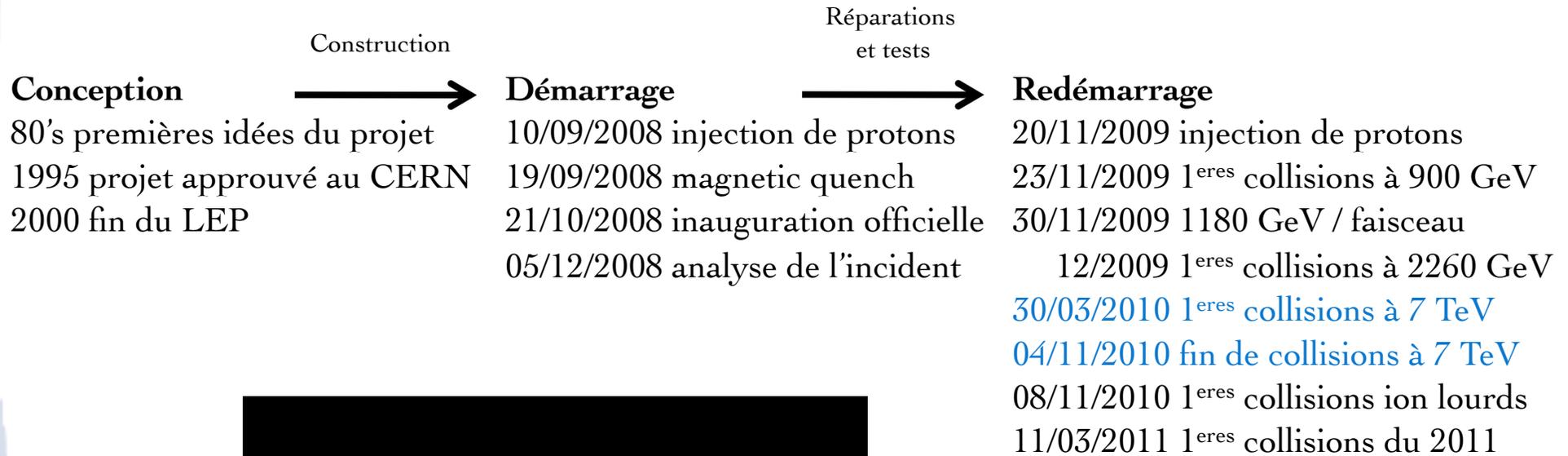


**LHC run 2010**

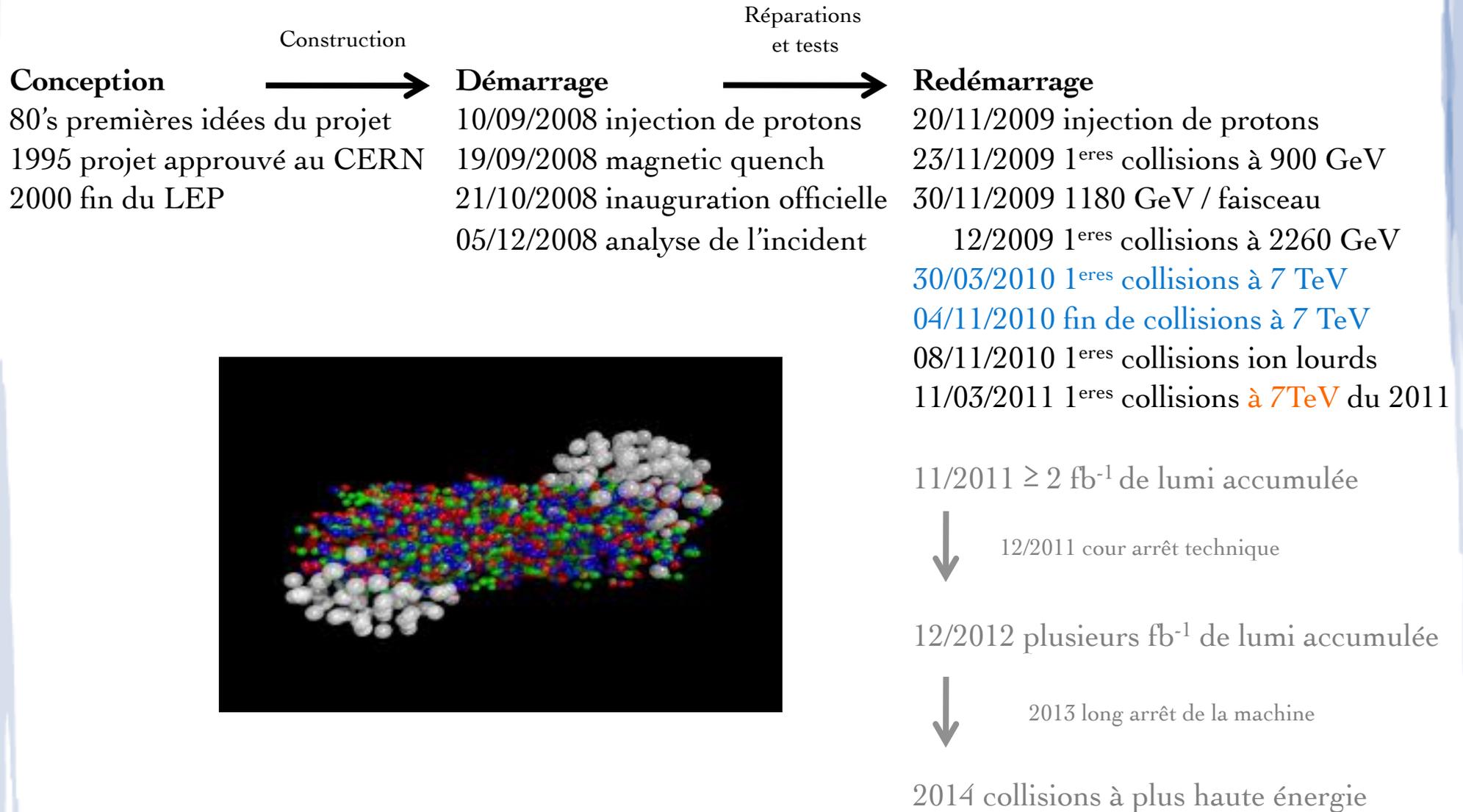


Pic de luminosité instantanée =  $6,3 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   
 368 paquets / faisceau, 348 collisions de paquets

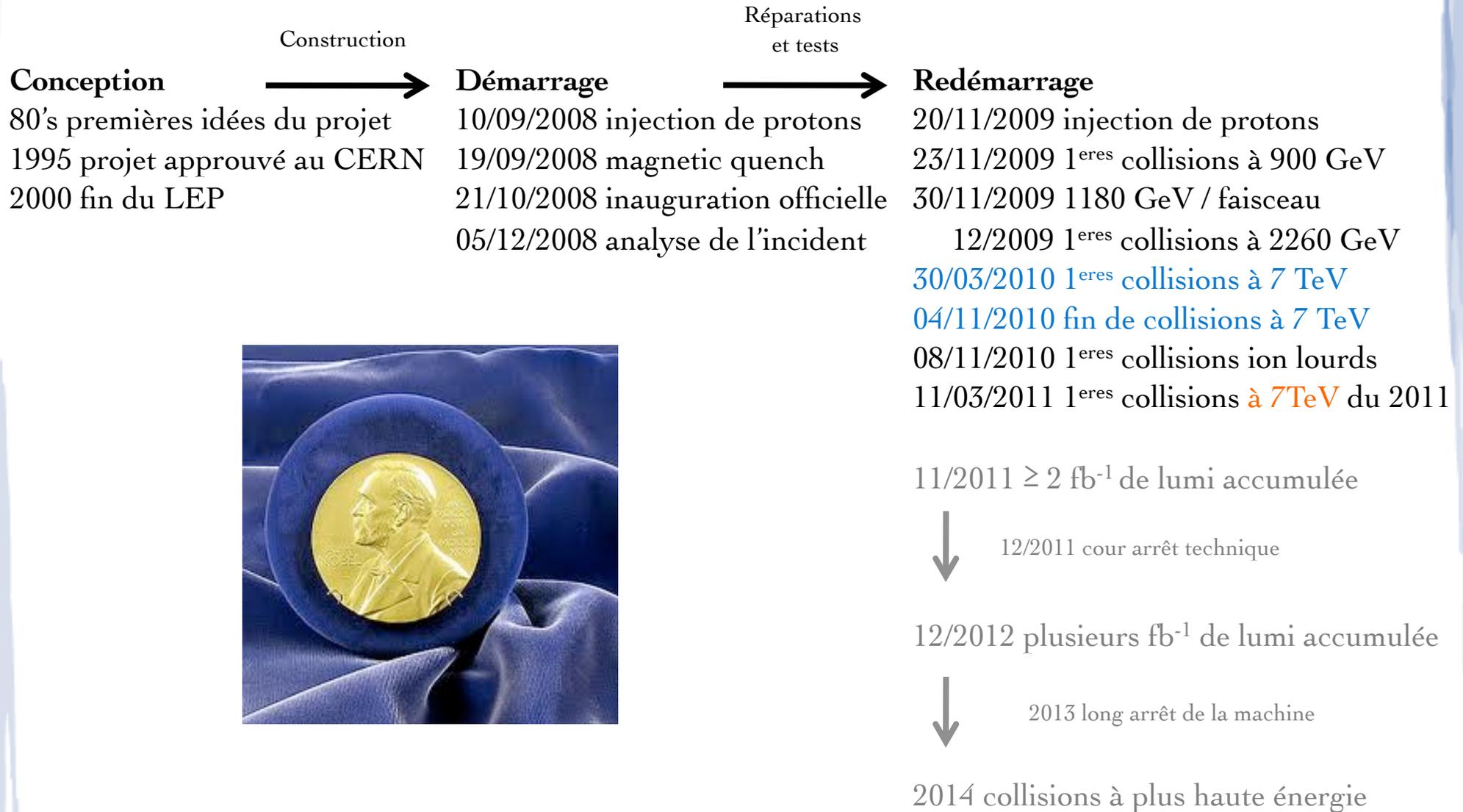
# Le LHC



# Le LHC



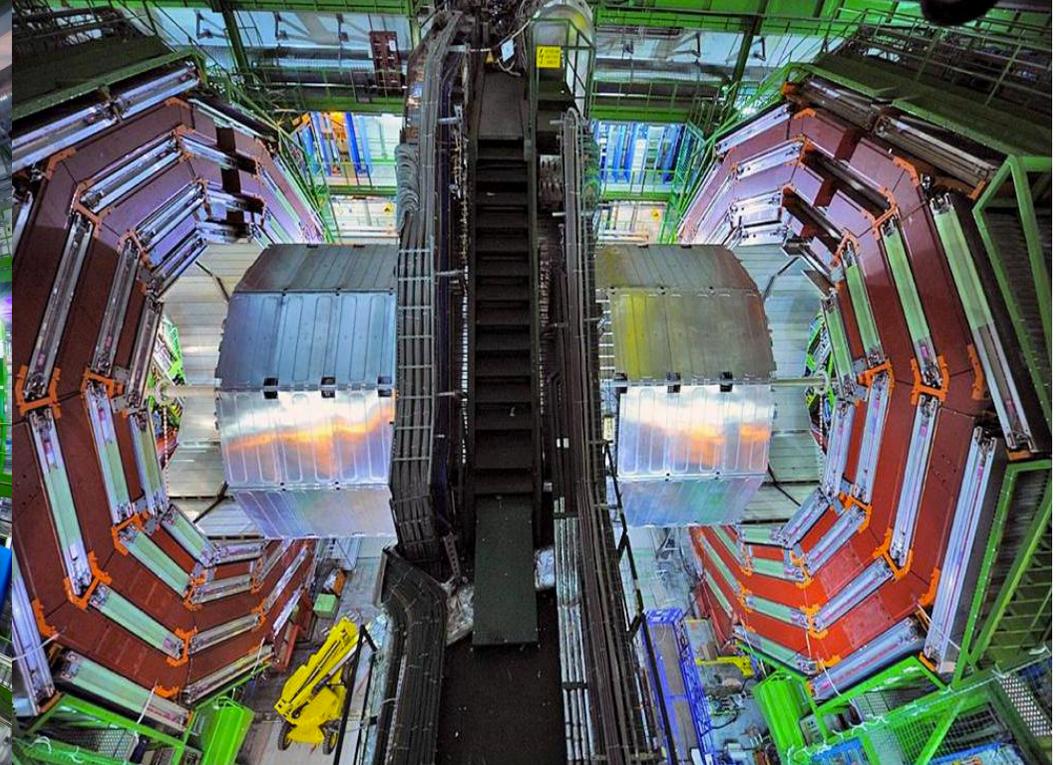
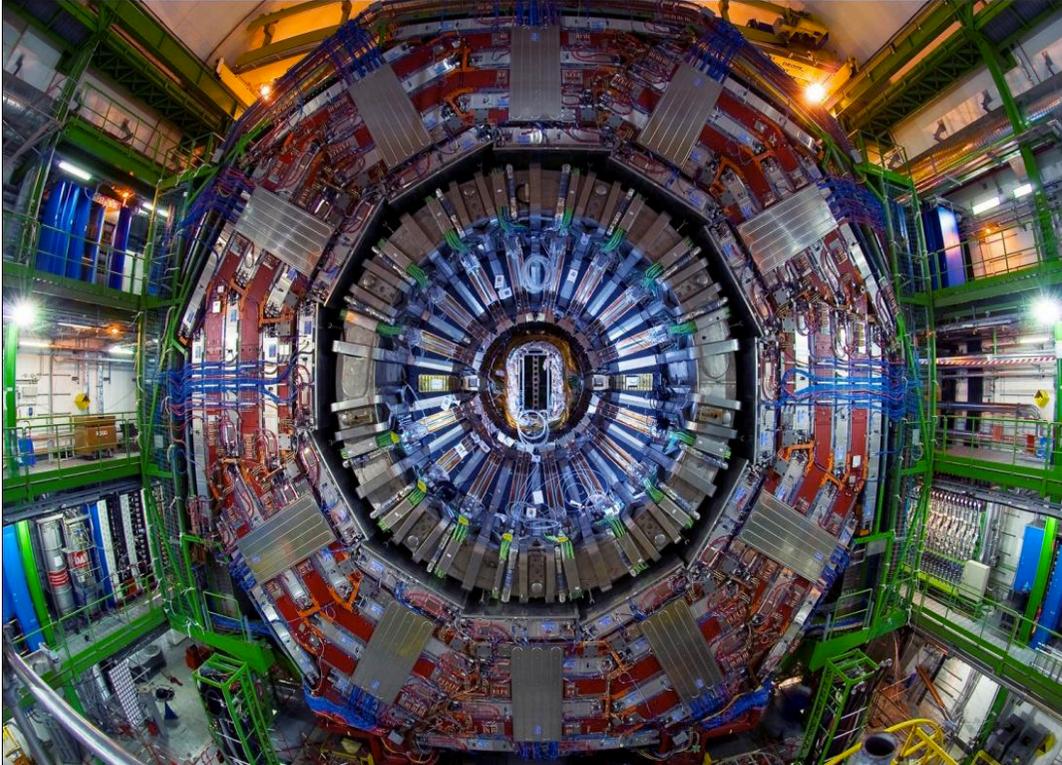
# Le LHC



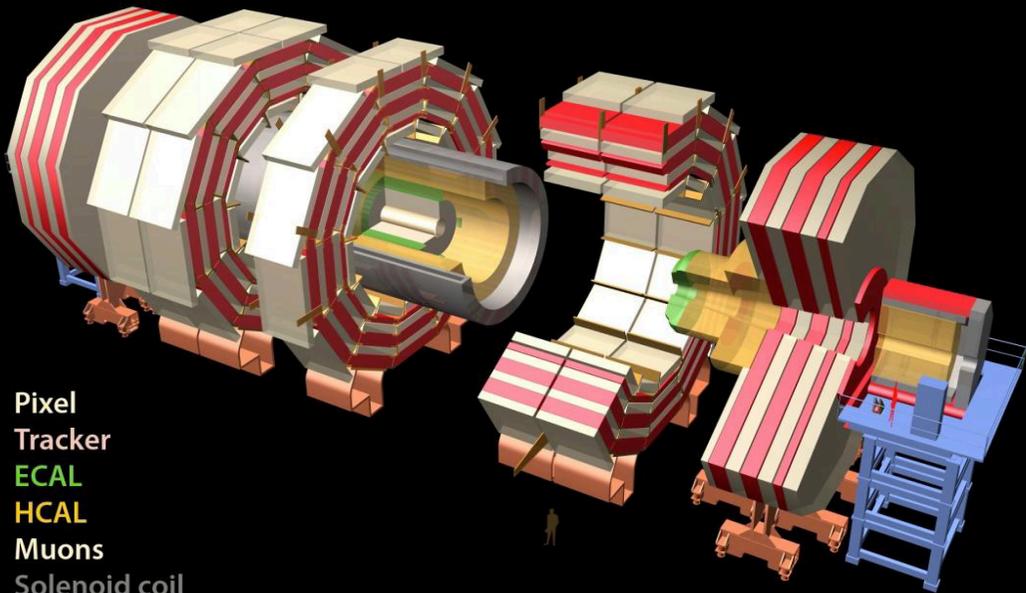
# La Collaboration CMS



Pixel  
Tracker  
ECAL  
HCAL  
Muons  
Solenoid coil



# La Collaboration CMS

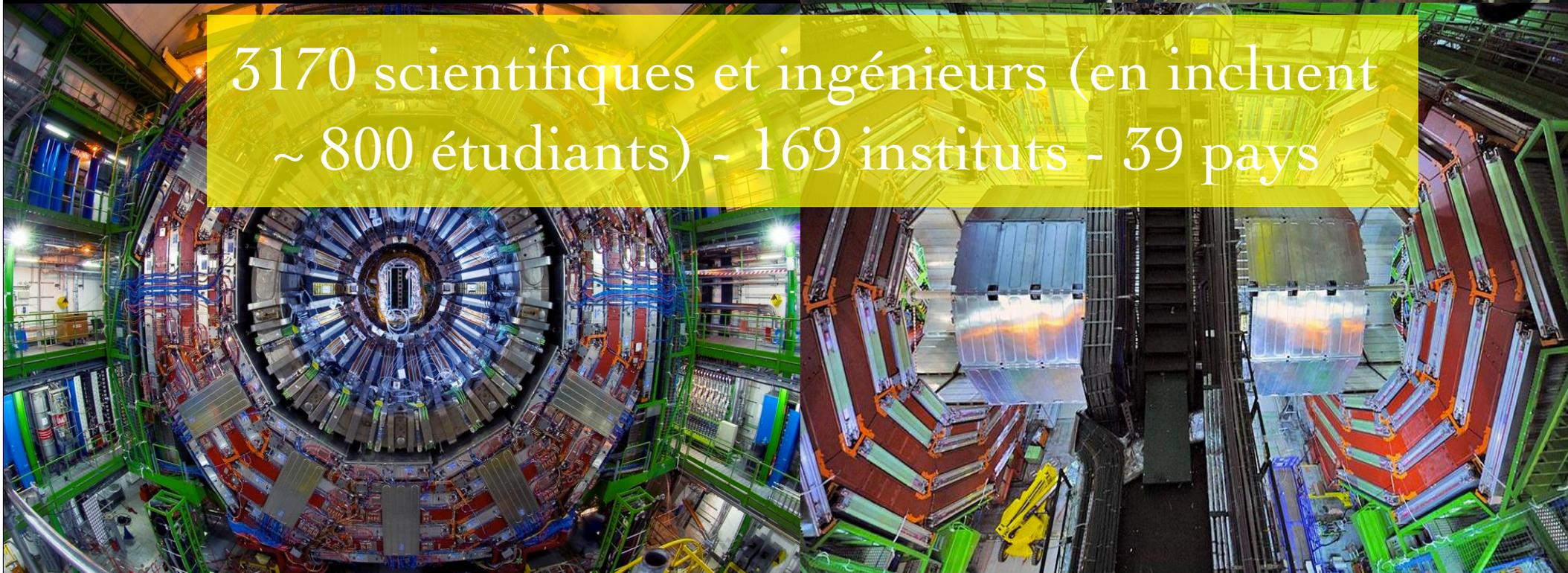


Pixel  
Tracker  
ECAL  
HCAL  
Muons  
Solenoid coil

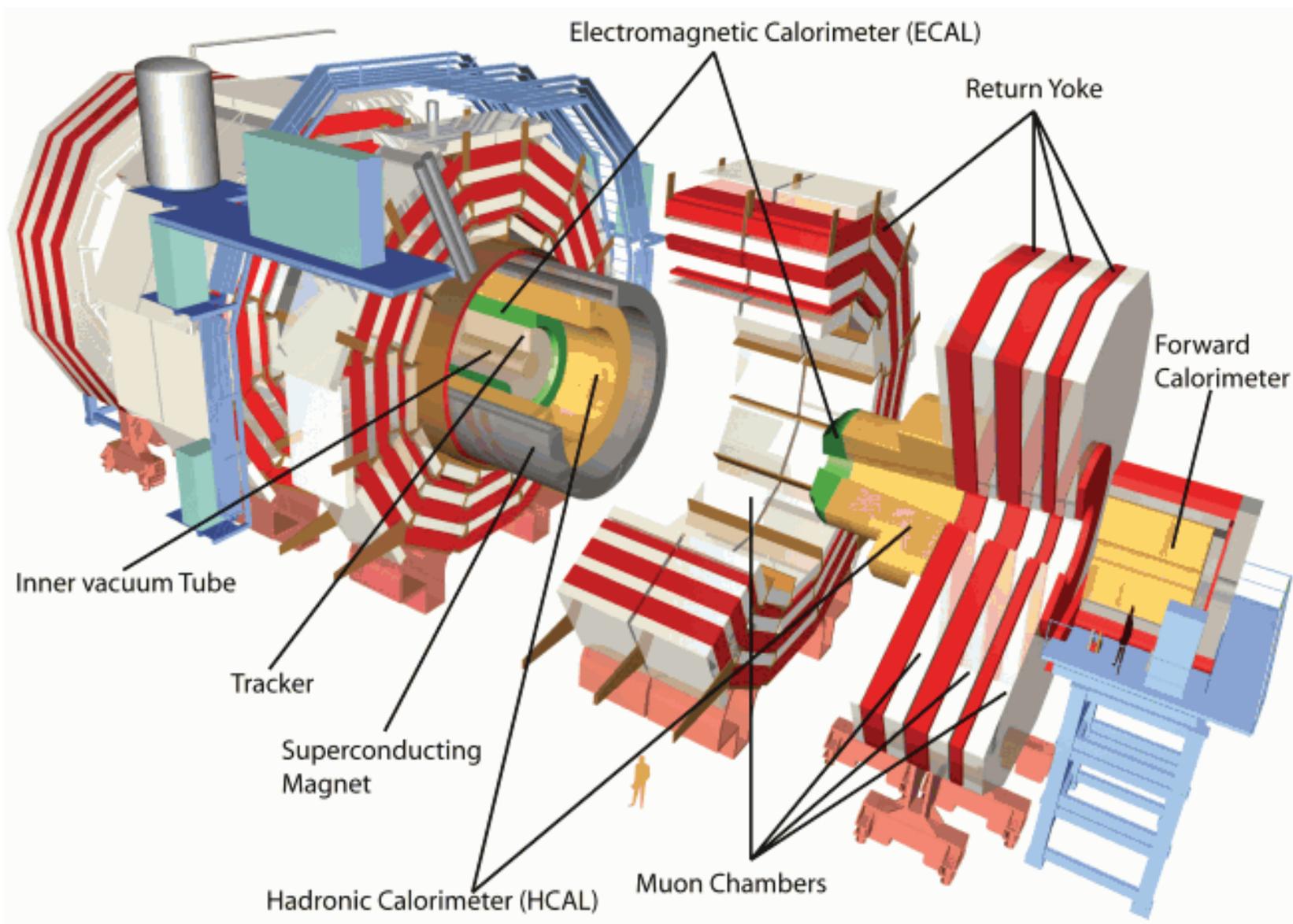


1 / 4 de personnes qui ont permis  
la réalisation de CMS

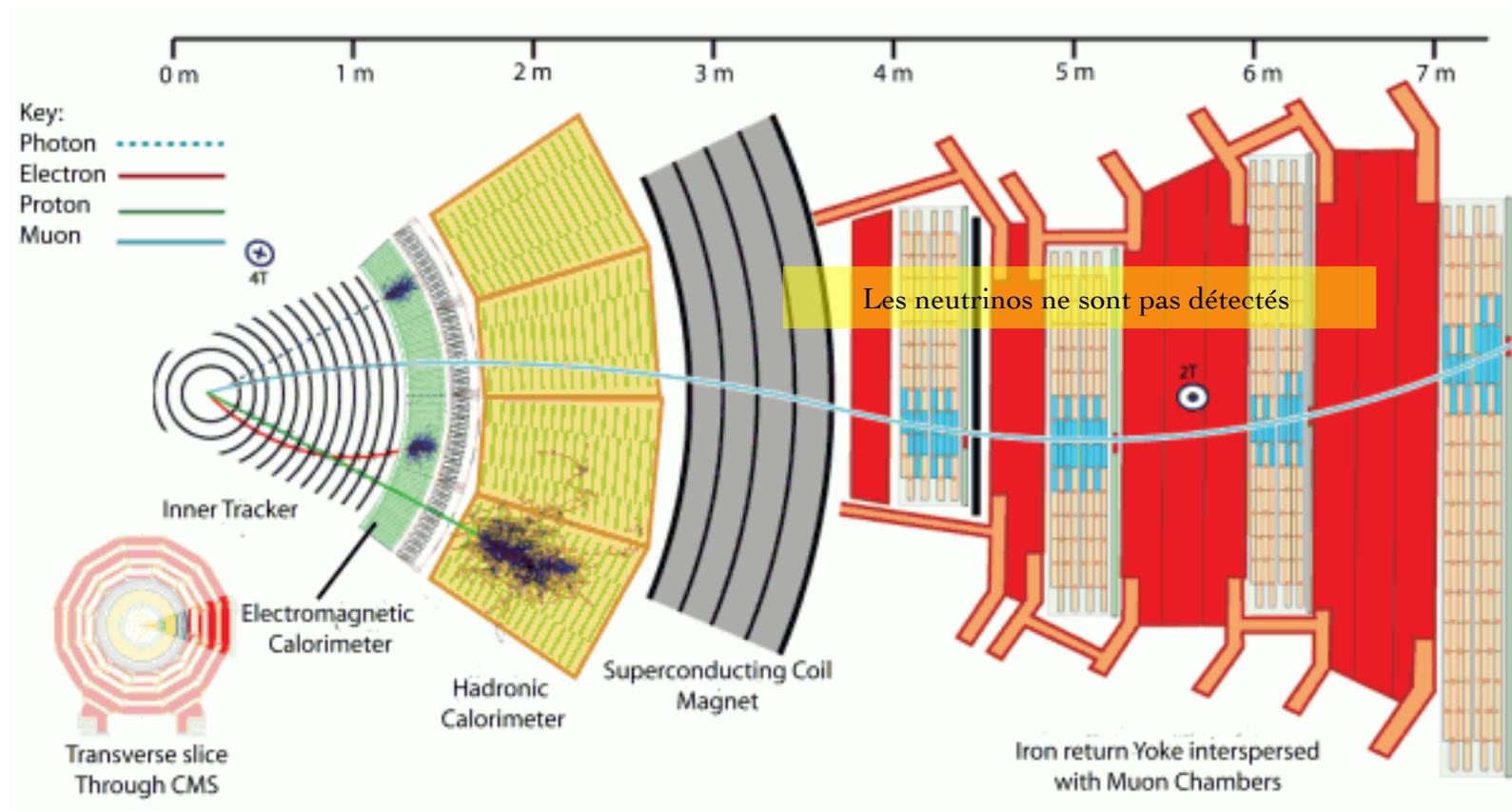
3170 scientifiques et ingénieurs (en incluent  
~ 800 étudiants) - 169 instituts - 39 pays



# Le détecteur CMS



# Le détecteur CMS



$$I_{\text{rel}} = \frac{\sum (p_T^{\text{Trk}} + E_T^{\text{ECAL}} + E_T^{\text{HCAL}})}{p_T^{\text{cand}}}$$

somme (qui exclu le candidat)  
dans un cônes  $\Delta R = 0.3$  autour du candidat

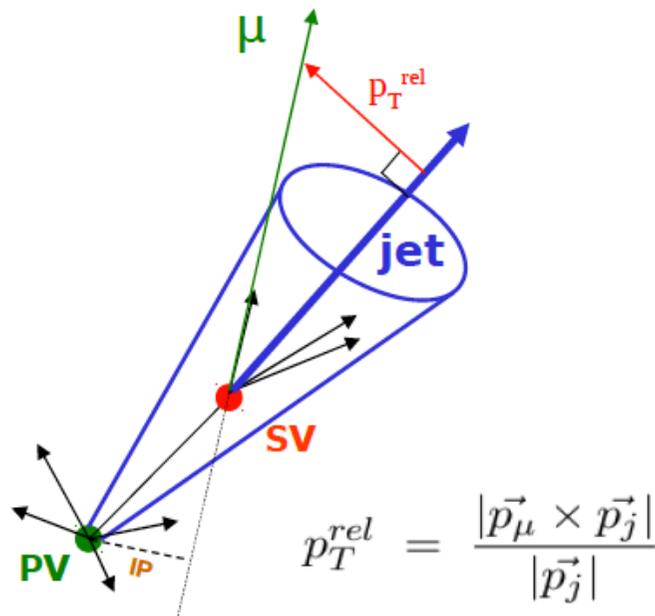
# “Tagging” du b

Les quarks b ont une longue durée de vie  $\sim$  ps,  $c\tau \sim 500 \mu\text{m} \Rightarrow$  présence d'un vertex secondaire

## Algorithmes de tagging du b

basés sur le:

- 1) paramètre d'impact (i.e. IP des traces du SV),
- 2) vertex secondaire (i.e. multiplicité de traces du SV) où
- 3) lepton (IP,  $p_T^{\text{rel}}$  du  $\mu$ )



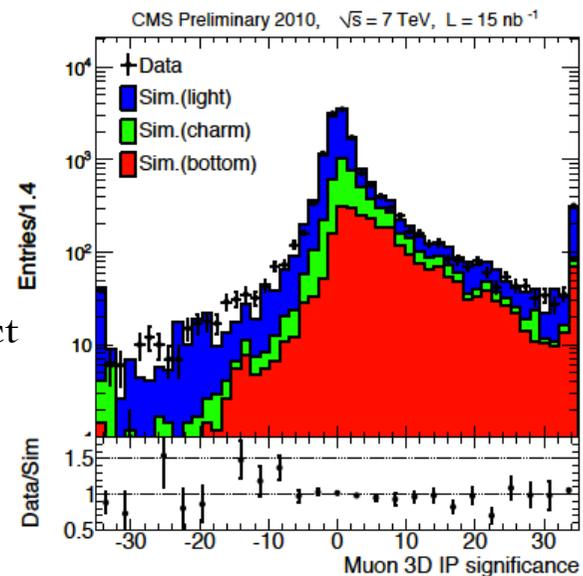
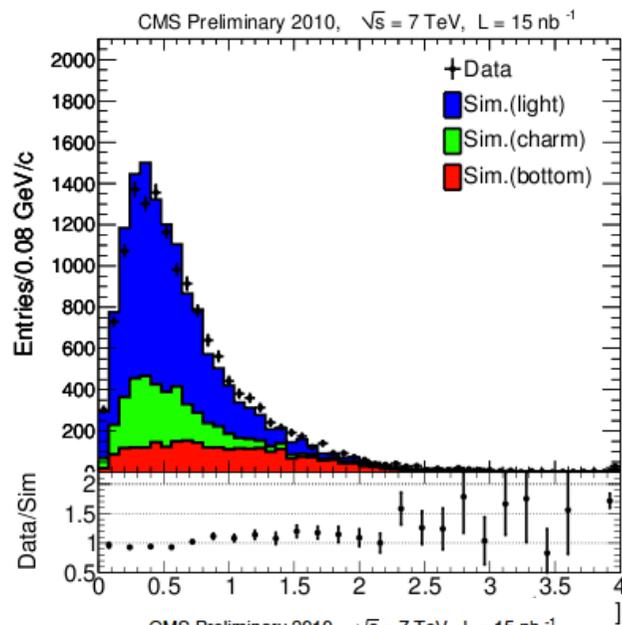
Taggeurs muon  
(type 3)

par  $p_T^{\text{rel}}$

par signifiante  
du paramètre d'impact

Marco CARDACI

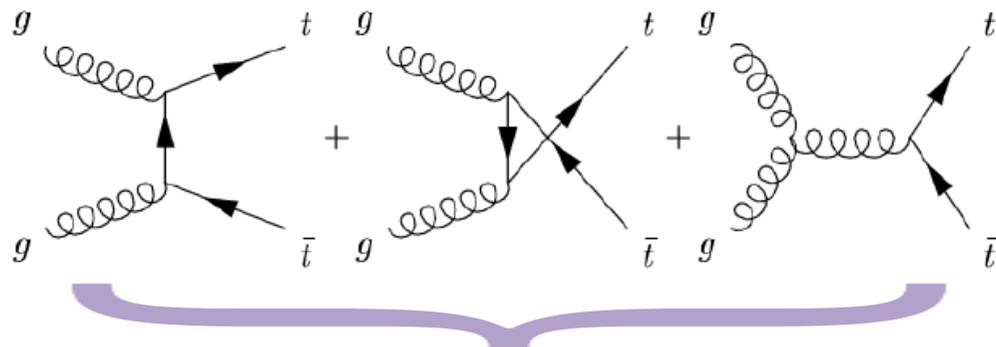
## Discriminateurs



# La paire de quarks top

# Production de paires de quarks top

Au LHC le mécanisme principal est la fusion de gluons!



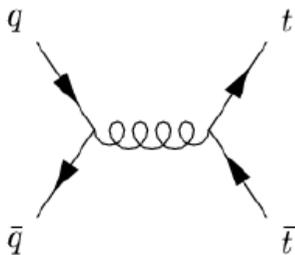
~ 85%

au LHC

~ 15%

au Tevatron

... différemment que au Tevatron, où l'annihilation de paires quark-antiquark est dominante!



~ 15%

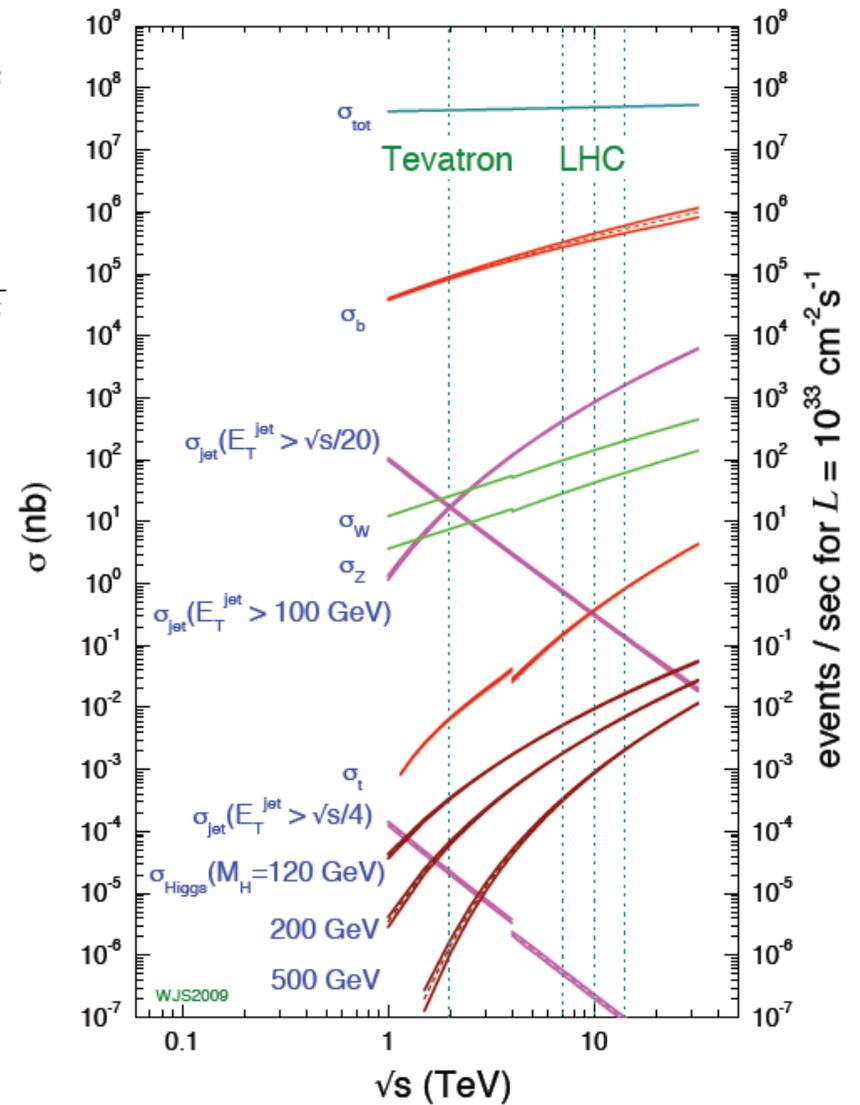
au LHC

~ 85%

au Tevatron

$\sigma = 158 \pm 23 \text{ pb @ NLO (MCFM)}$

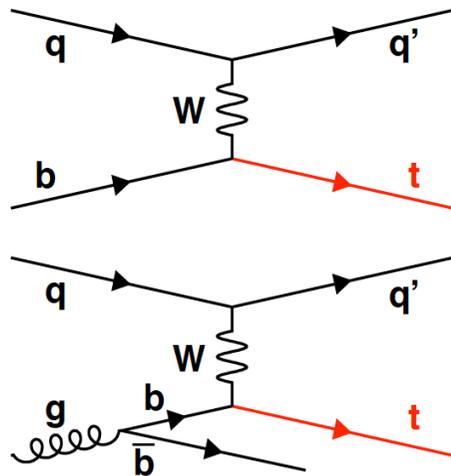
proton - (anti)proton cross sections



# Le top célibataire

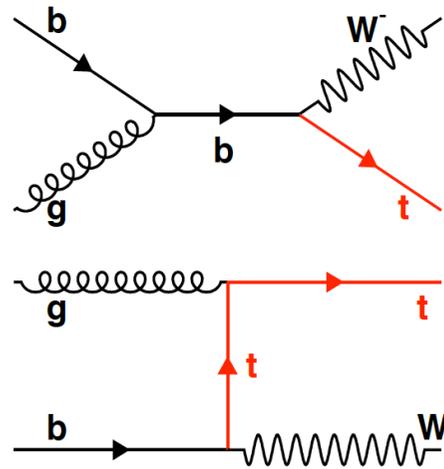
La production électrofaible du top célibataire est aussi possible

Trois modes de production sont possibles:



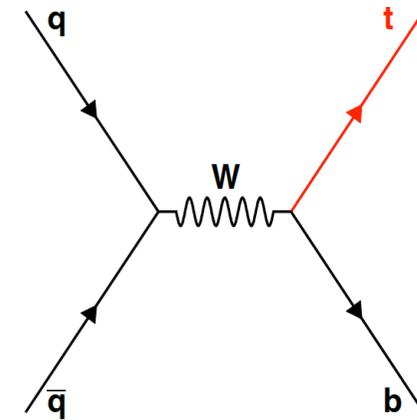
canal t

~ 63 pb



t W associés

~ 11 pb

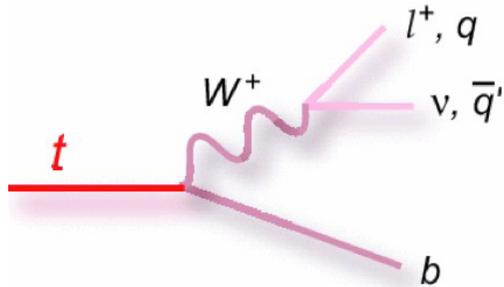


canal s

~ 5 pb

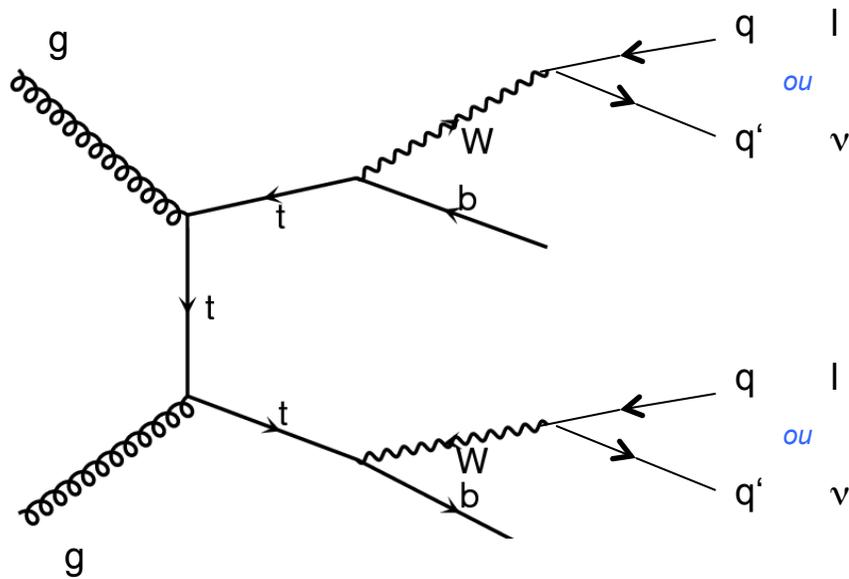
$\sigma = 79 \text{ pb} \pm 3 \text{ pb}$  contre la  $\sigma = 158 \pm 23 \text{ pb}$  de paires de quarks

# Canaux de désintégration de paires de quarks top



La matrice CKM favorise la désintégration du quark top en quark beau ( $|V_{tb}| \approx 1$ )

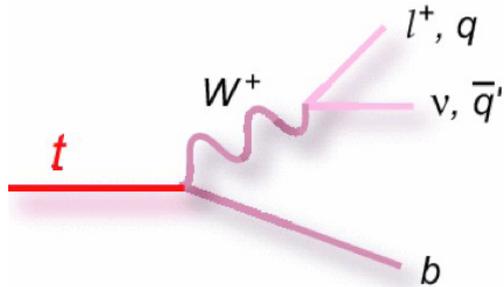
$t \rightarrow Wb$  environ 100% des fois



Modes de désintégration

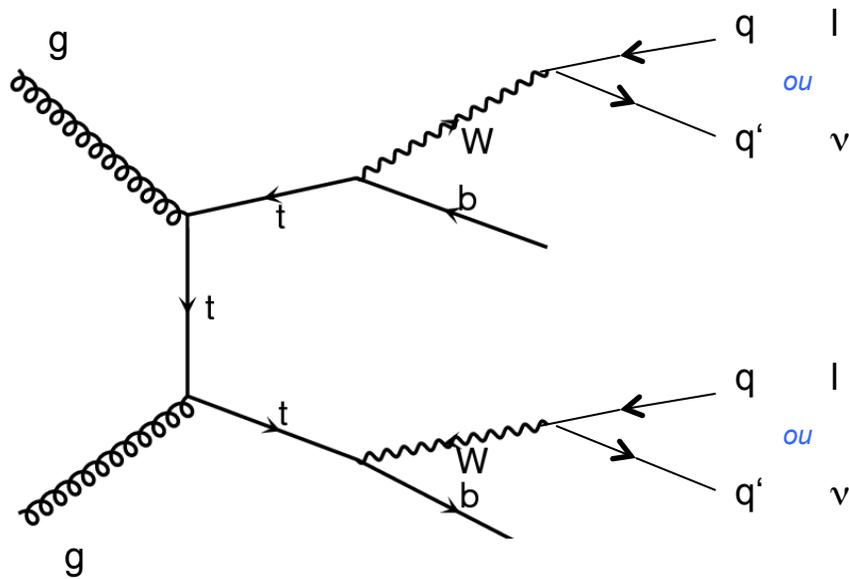
$\bar{c}s$	electron+jets	muon+jets	tau+jets	all-hadronic	
$\bar{u}d$					
$\tau^-$	$e\tau$	$\mu\tau$	$\tau\tau$	tau+jets	
$\mu^-$	$e\mu$	$\mu\mu$	$\mu\tau$	muon+jets	
$e^-$	$e\bar{e}$	$e\mu$	$e\tau$	electron+jets	
$W$ decay	$e^+$	$\mu^+$	$\tau^+$	$u\bar{d}$	$c\bar{s}$

# Canaux de désintégration de paires de quarks top



La matrice CKM favorise la désintégration du quark top en quark beau ( $|V_{tb}| \approx 1$ )

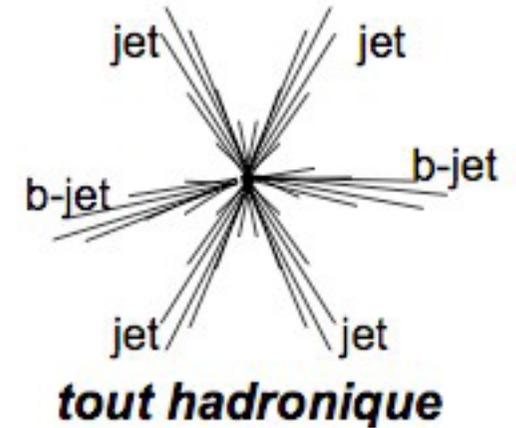
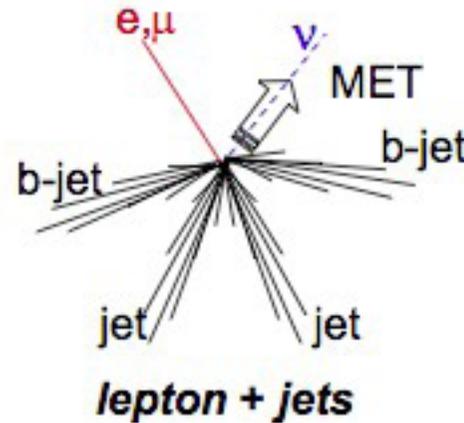
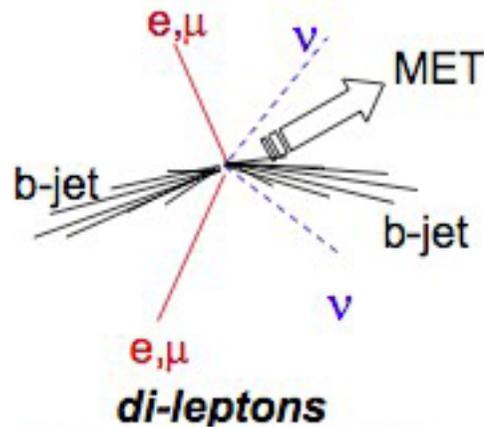
$t \rightarrow Wb$  environ 100% des fois



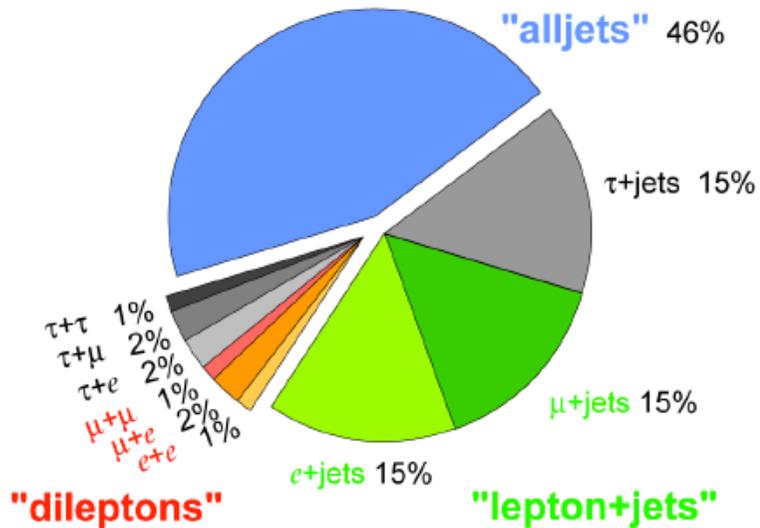
Modes de désintégration

	$W^-$					
$\bar{c}s$	lepton + jets	tau + jets	all hadronic			
$\bar{u}d$						
$\tau$	$\tau e / \tau \mu$	$\tau\tau$		tau + jets		
$\mu$	dilepton	$\tau e / \tau \mu$	lepton + jets			
$e$						
	$e^+$	$\mu^+$	$\tau^+$	$u\bar{d}$	$c\bar{s}$	$W^+$

# Topologies



## Top Pair Branching Fractions

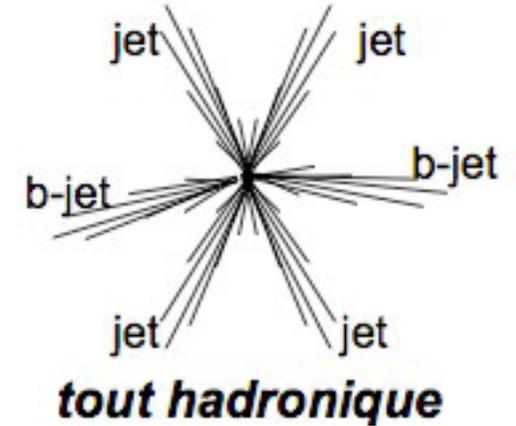
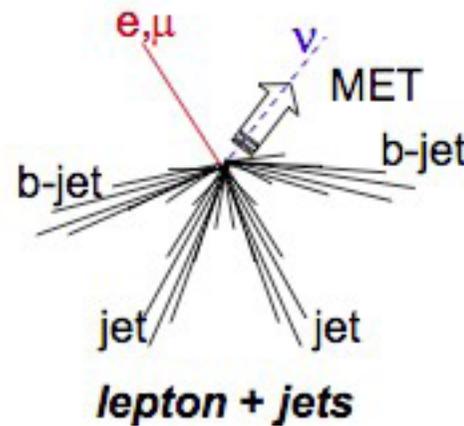
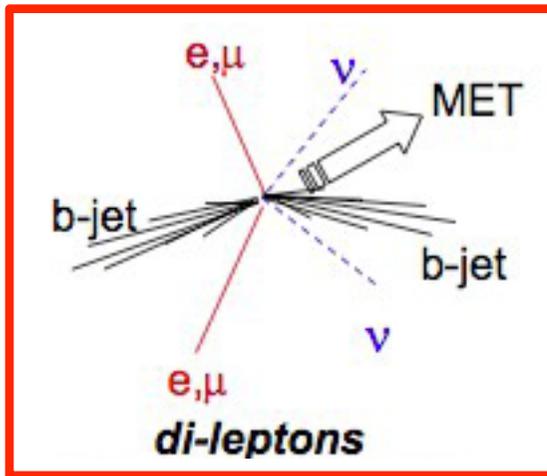


**tout hadronique** = 6 jets dont 4 légers => noyés par le bruit fond QCD

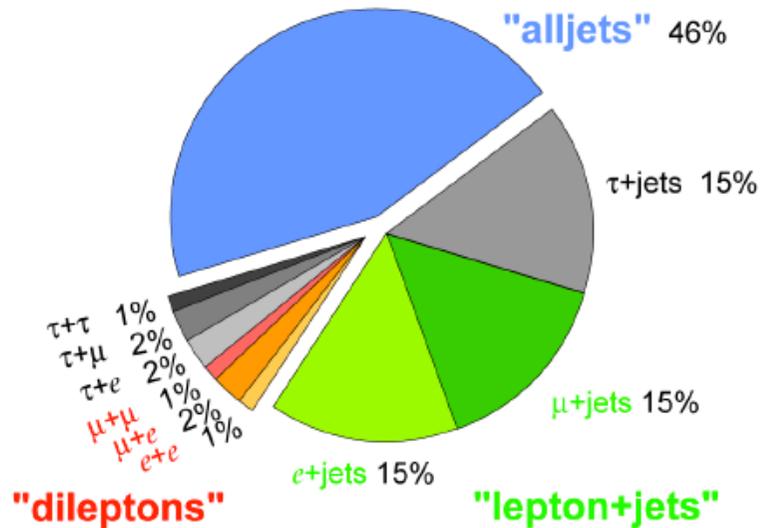
**lepton+jets** = un lepton isolé, énergie transverse manquante (MET), 4 jets dont 2 légers => bruits de fond principal W+jets

**dileptonique** = deux leptons isolés, MET, 2 jets b => bruits fond principal Z+jets

# Topologies



Top Pair Branching Fractions



**tout hadronique** = 6 jets dont 4 légers => noyés par le bruit fond QCD

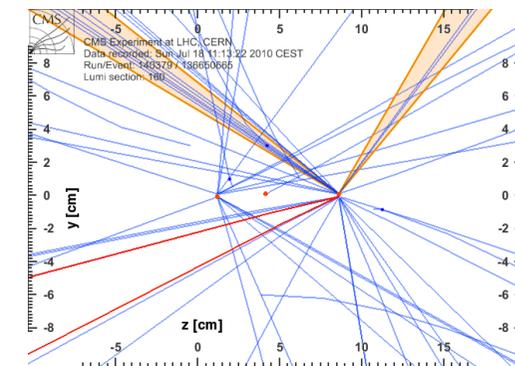
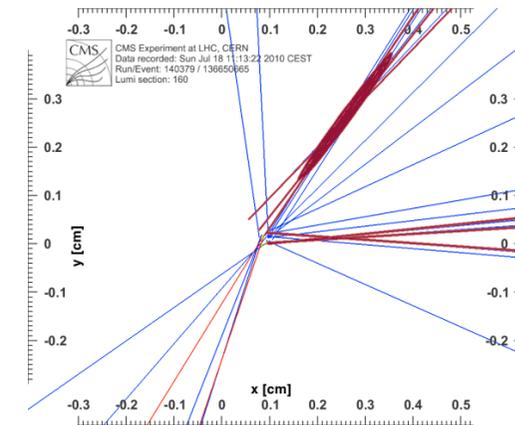
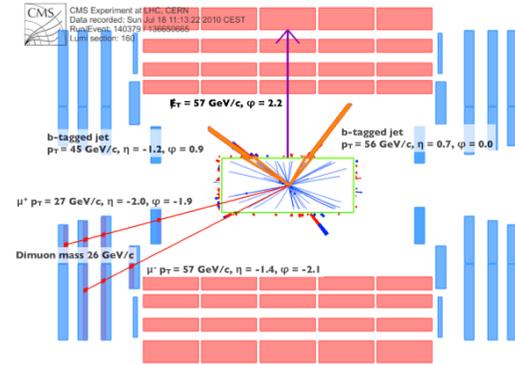
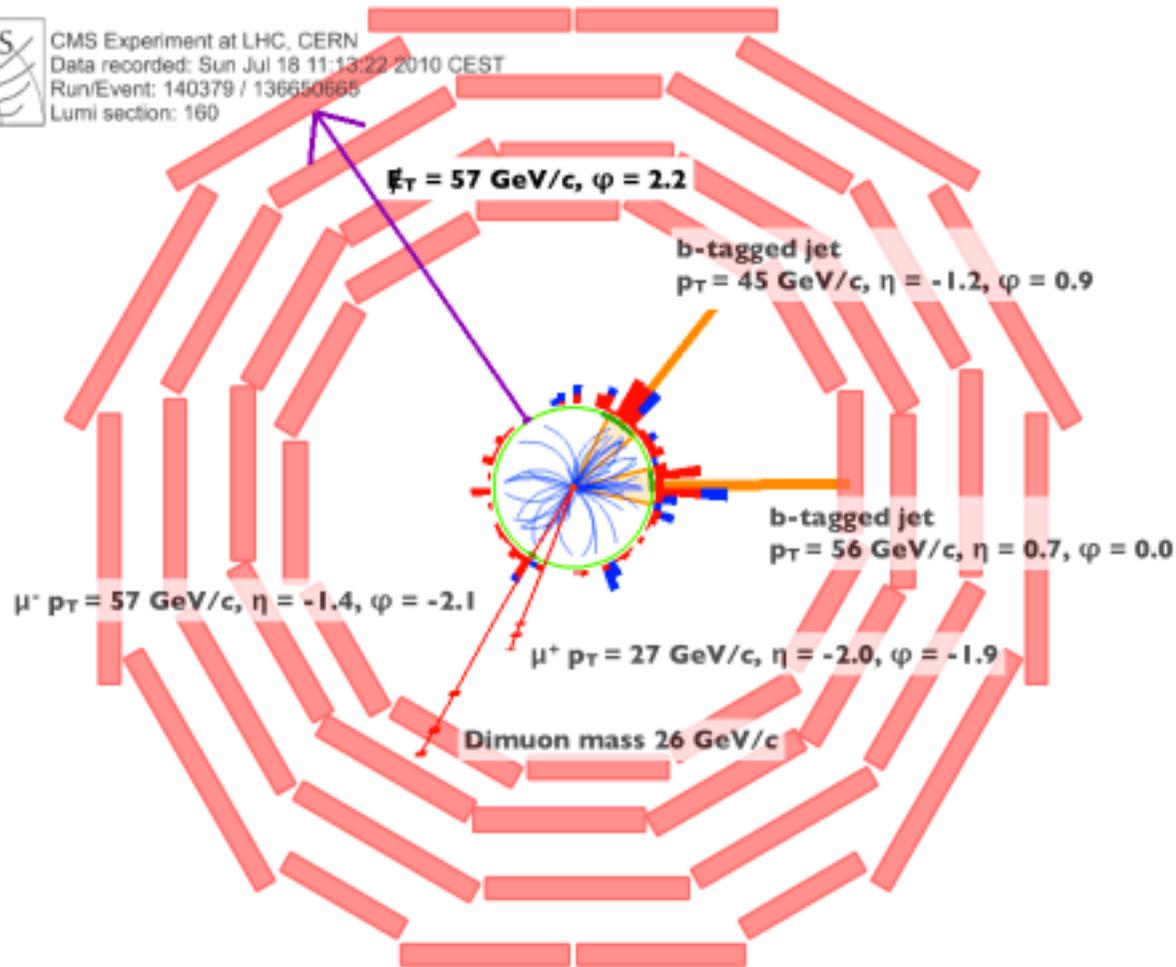
**lepton+jets** = un lepton isolé, énergie transverse manquante (MET), 4 jets dont 2 légers => bruits de fond principal W+jets

**dileptonique** = deux leptons isolés, MET, 2 jets b => bruits fond principal Z+jets

# Exemple d'événement dileptonique



CMS Experiment at LHC, CERN  
 Data recorded: Sun Jul 18 11:13:22 2010 CEST  
 Run/Event: 140379 / 136650665  
 Lumi section: 160



Marco CARDACI

# La mesure de la section efficace

# Comptage

La mesure de la section efficace est une "simple" expérience de comptage



Signal (S) que l'on voudrais être capable d'observer directement

Section efficace mesurée

$$\leftarrow \sigma_{\text{data}}^{t\bar{t}} = \sigma_{\text{theory}}^{t\bar{t}} \frac{S_{\text{obs}}}{SF \cdot S_{\text{exp}}}$$

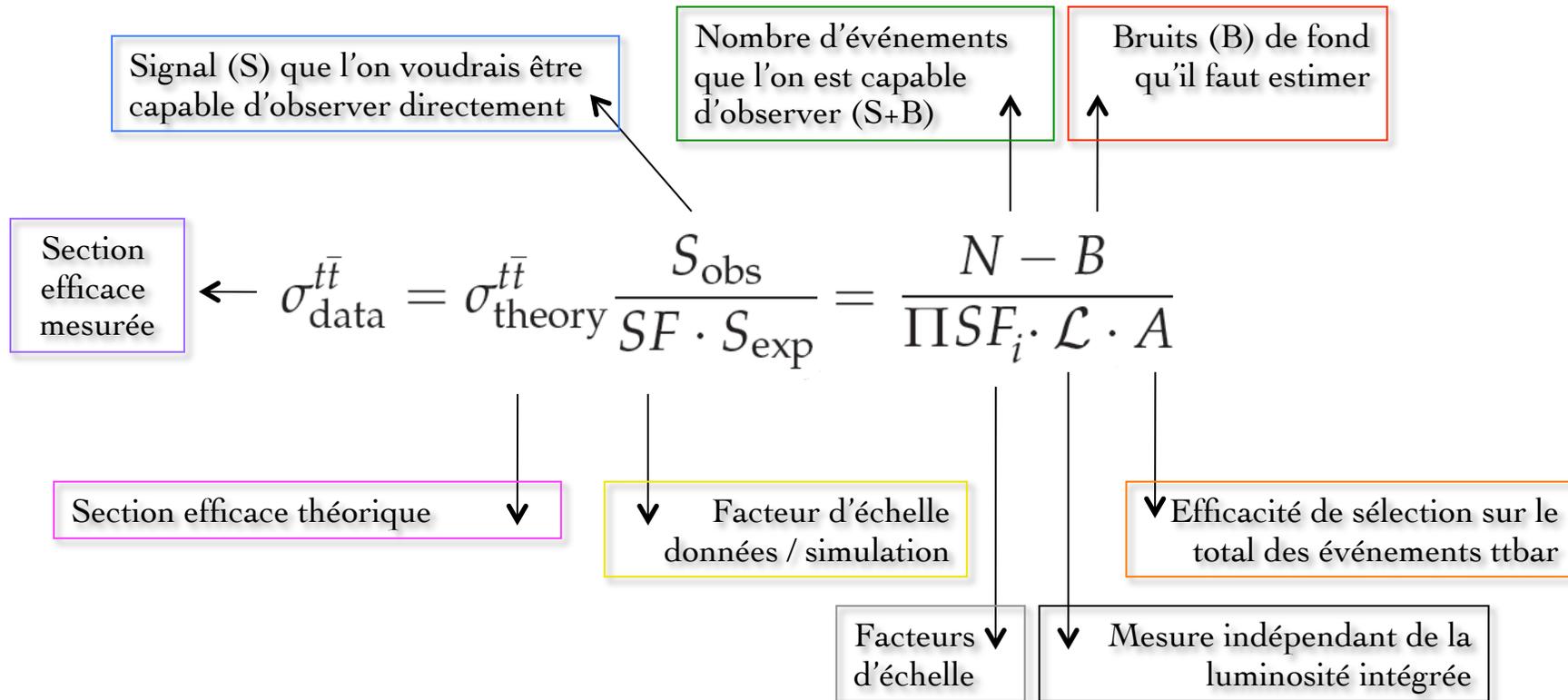
Section efficace théorique

Facteur d'échelle données / simulation

# Comptage



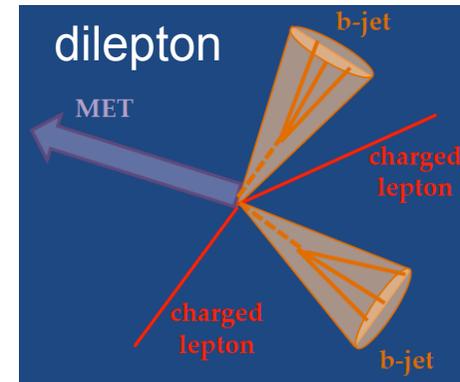
La mesure de la section efficace est une "simple" expérience de comptage



# Sélection du signal

Signal

**2 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
**≥ 2 jets**



- Système de déclenchement: un électron (muon) avec  $p_T > 15$  (9) GeV/c

- **Electron et muon**

- $p_T > 20$  GeV/c et  $|\eta| < 2.5$
- $I^{rel} < 0.15$  dans un cône  $\Delta R = 0.3$
- Deux de charge opposée

$$\eta = -\ln \left[ \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) \right]$$

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2}$$

- Veto sur le pic du Z pour ee et  $\mu\mu$

- $|M_{ll} - M_Z| \geq 15$  GeV/c<sup>2</sup> et  $M_{ll} > 12$  GeV/c<sup>2</sup>

$$M^2 = (E_1 + E_2)^2 - \|\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2\|^2$$

- **Jets: Anti- $k_T$  avec  $\Delta R = 0.5$**

- au moins deux
- $p_T > 30$  GeV/c et  $|\eta| < 2.5$
- corrigés pour avoir uniformité en  $\eta$  et réponse absolu en  $p_T$

≥ 2 jets      SSVHEM (TCHEL)      = 1 jet

~ 70% tt      ≥ 2 jets avec ≥ 1 b-tag      ~ 25% tt

- **Neutrinos => énergie transverse manquante**

- pfMET > 30 (50) GeV pour ee &  $\mu\mu$ , pour ≥ 2 jets (=1 jet)
- $M_T^{e,\mu} + M_T^\mu > 130$  GeV/c<sup>2</sup> (no cut) pour  $e\mu$ , pour ≥ 2 jets (=1 jet)

$$M_T^{e,\mu} = \sqrt{2p_T^{e,\mu} E_T [1 - \cos(\phi_{\vec{E}_T} - \phi_{e,\mu})]} / c$$

# Problématique expérimentale

Bruits de fond



Estimation des bruits de fond

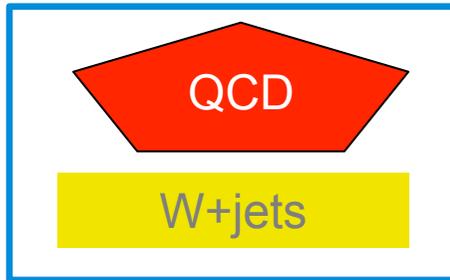
Estimés à partir du MC



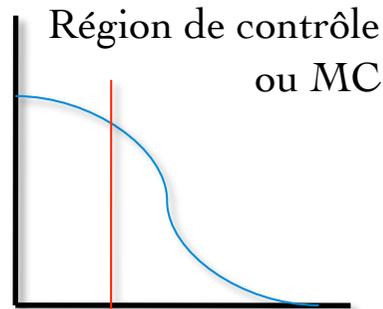
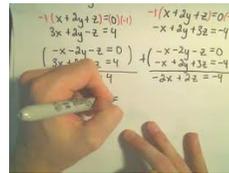
Echantillon sélectionné



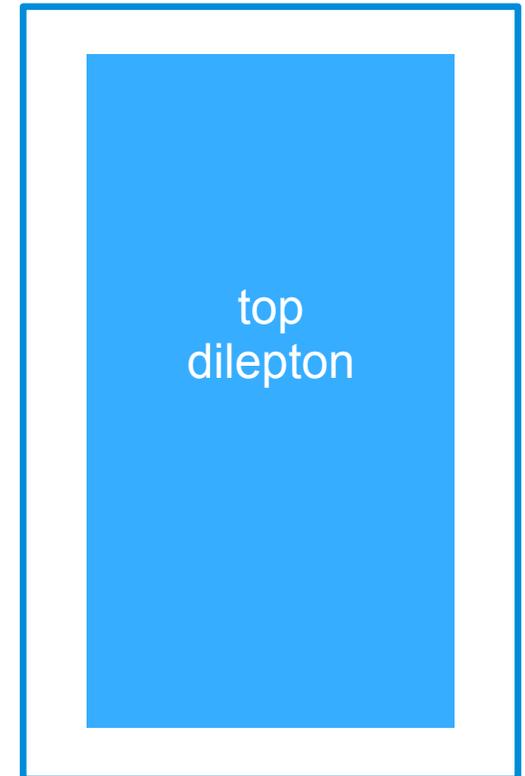
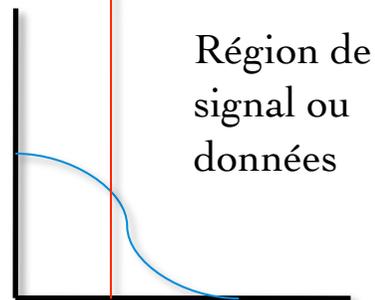
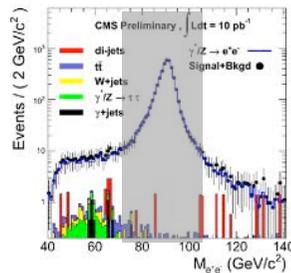
Signal



- Faux leptons
- Matrice

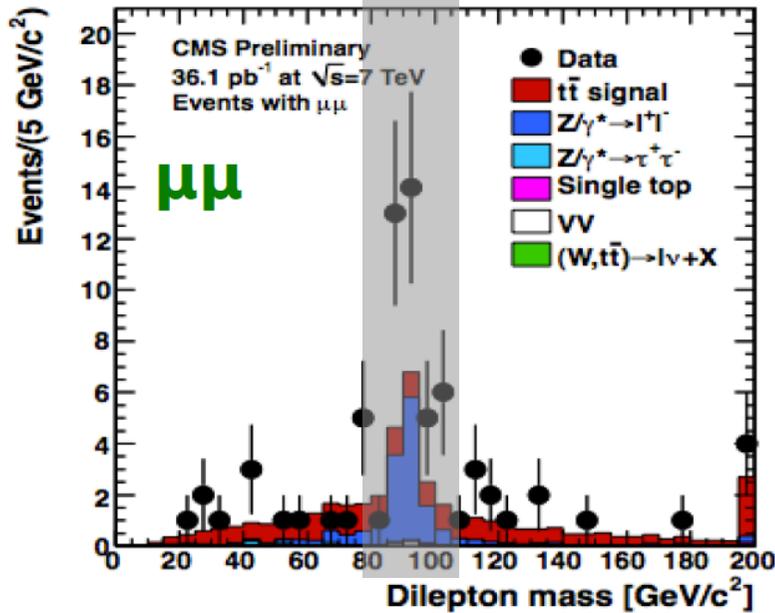


Hors/dans pic



Marco CARDACI

Région du pic = [76, 106] GeV



## Estimation hors-pic du DY

Données  $\approx 2 \times$  MC  $\Rightarrow$  estimation à partir des données, nécessaire!

$$R_{\text{out/in}} = N_{Z/\gamma^* \text{ MC}}^{\text{out}} / N_{Z/\gamma^* \text{ MC}}^{\text{in}}$$

$$N_{Z/\gamma^* \text{ D}}^{\text{out}} = R_{\text{out/in}} N_{Z/\gamma^* \text{ D}}^{\text{in}} = R_{\text{out/in}} (N_{\mu\mu}^{\text{in}} - k_{\mu\mu} N_{e\mu}^{\text{in}})$$

Contribution totale (DY et non-DY) de  $\mu\mu$  dans le pic

Partie non-DY

$$k_{\mu\mu} = (N_{\text{in}}^{\mu\mu, \text{loose}} / N_{\text{in}}^{ee, \text{loose}})^{1/2} \quad \text{Facteur de correction différences identification e et } \mu$$

Sample	$N_{\text{jet}} = 1$	$N_{\text{jet}} \geq 2$
$e^+e^-$ : $\cancel{E}_T > 50$ GeV in $N_{\text{jet}} = 1$ , $\cancel{E}_T > 30$ GeV in $N_{\text{jet}} \geq 2$		
Simulated	$0.1 \pm 0.1$	$1.7 \pm 0.3$ STAT
$R_{\text{out/in}}$	$0.13 \pm 0.13$	$0.14 \pm 0.03$
Estimate from data	$0.2 \pm 0.3$	$3.0 \pm 1.8$ STAT + SYST
$\mu^+\mu^-$ : $\cancel{E}_T > 50$ GeV in $N_{\text{jet}} = 1$ , $\cancel{E}_T > 30$ GeV in $N_{\text{jet}} \geq 2$		
Simulated	$1.4 \pm 0.3$	$3.3 \pm 0.5$
$R_{\text{out/in}}$	$1.1 \pm 0.3$	$0.22 \pm 0.03$
Estimate from data	$5.2 \pm 3.4$	$7.4 \pm 4.1$
$e^+e^-$ : with b-tagging, $\cancel{E}_T > 30$ GeV		
Simulated	$0.16 \pm 0.07$	$0.6 \pm 0.2$
$R_{\text{out/in}}$	$0.08 \pm 0.04$	$0.14 \pm 0.05$
Estimate from data	$0.6 \pm 0.5$	$0.7 \pm 0.7$
$\mu^+\mu^-$ : with b-tagging, $\cancel{E}_T > 30$ GeV		
Simulated	$0.8 \pm 0.2$	$1.3 \pm 0.3$
$R_{\text{out/in}}$	$0.27 \pm 0.08$	$0.23 \pm 0.05$
Estimate from data	$2.9 \pm 1.9$	$2.6 \pm 1.8$

**Incertitude statistique: 20%**

**Incertitude systématiques (estimés avec MC):**

- MET  $\Rightarrow$  mesure  $p_T^1 \Rightarrow$  augmentation  $R_{\text{out/in}} \Rightarrow \leq 50(20)\% \mu\mu(ee)$
- Calibration échelle d'énergie  $\Rightarrow 15\% ee$
- Jets supplémentaires (pile-up)  $\Rightarrow$  masse inv. plus étendue  $\Rightarrow 15\%$
- TOTAL = 50%

**Méthodes alternatives:**

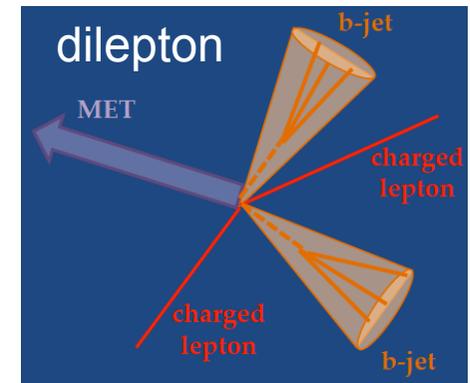
- Soustraction non-DY utilisant le MC
- Fit à basse MET (RC)  $\mu\mu$  et  $e\mu$  pour obtenir la forme du DY et non-DY  $\Rightarrow$  fit dans RS



# Problématique expérimentale

Signal

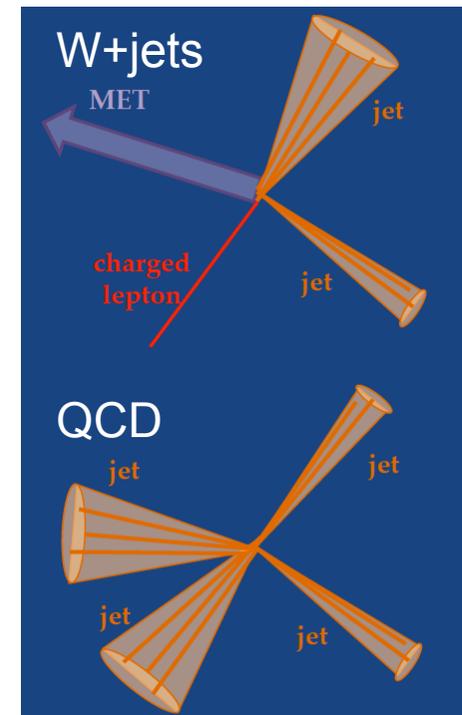
**2 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
 **$\geq 2$  jets**



Processus physiques distingués

**1 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
 **$\geq 1$  jets**

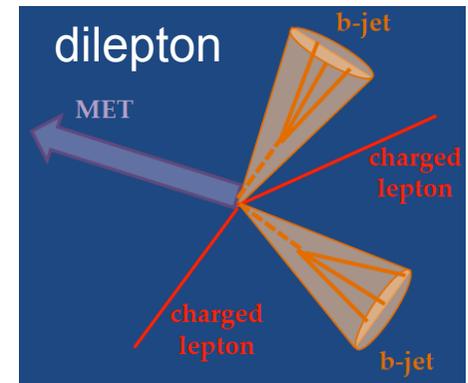
**$\geq 2$  jets**



# Problématique expérimentale

Signal

**2 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
**≥ 2 jets**



Processus physiques distingués

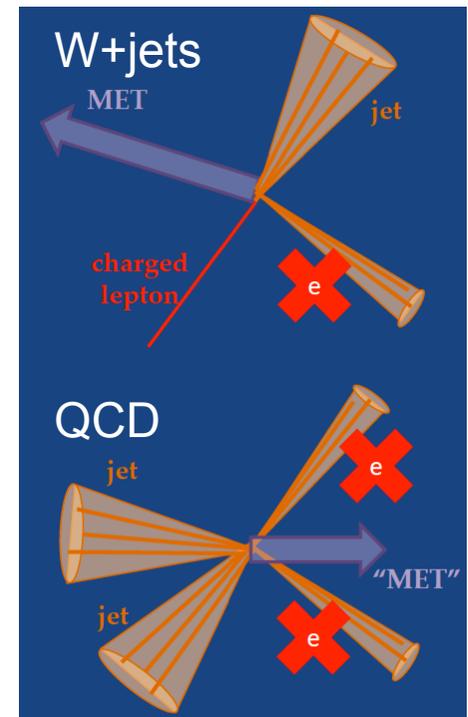


..qui peuvent être reconstruits et sélectionnés comme signal

**1 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
**≥ 1 jet**

**2 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
**≥ 1 jet**

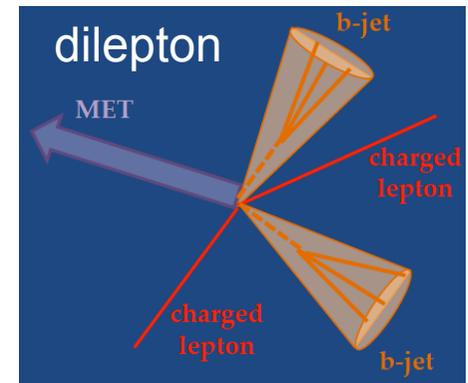
**≥ 2 jets**



# Problématique expérimentale

## Signal

**2 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
**≥ 2 jets**



## Pour les électrons et les muons

- Désintégration semileptonique d'un hadron de saveur lourd dans le jet

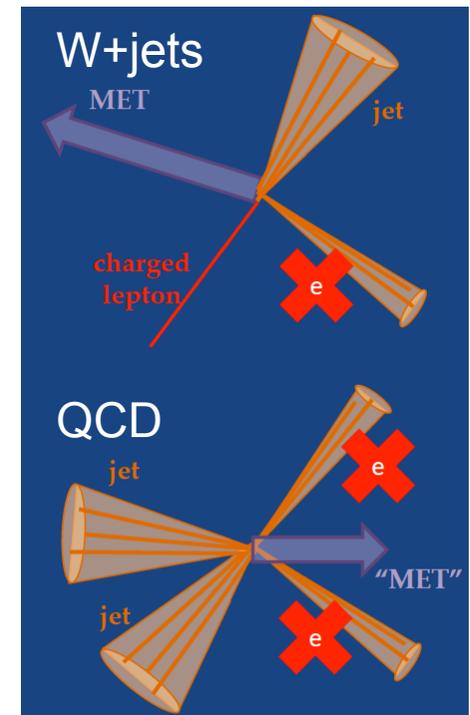
## Pour les électrons

- Jet léger avec un  $\pi^0$  superposé à une trace
- Conversion de photons

**1 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
**≥ 1 jet**

**2 leptons isolés**  
**Énergie transverse manquante**  
**≥ 1 jet**

**≥ 2 jets**

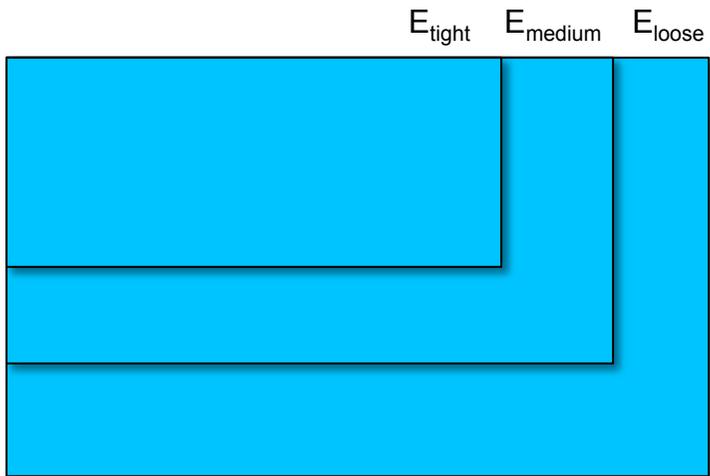


# Méthode de la matrice

Critères	$I^{\text{rel}} \text{ Lepton 1}$	$I^{\text{rel}} \text{ Lepton 2}$
Iso tight	$< 0.15$	$< 0.15$
Iso medium	$< 0.15$	$\longleftrightarrow < 0.5$
Iso loose	$< 0.5$	$< 0.5$

Région de signal

Régions de contrôle

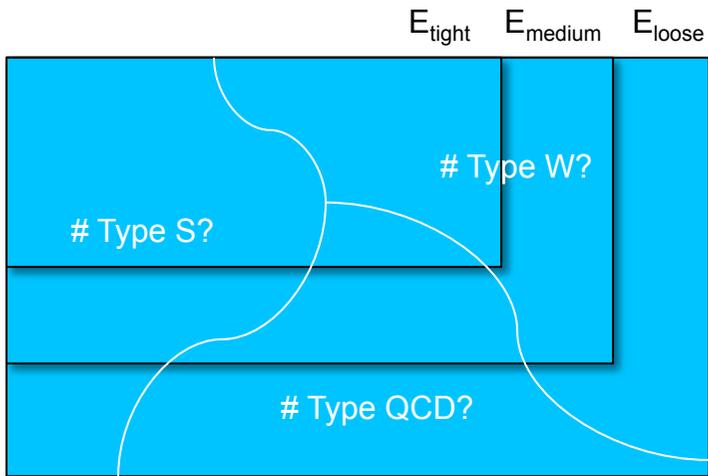


# Méthode de la matrice

Critères	$I^{rel}$ Lepton 1	$I^{rel}$ Lepton 2
Iso tight	< 0.15	< 0.15
Iso medium	< 0.15	↔ < 0.5
Iso loose	< 0.5	< 0.5

Région de signal

Régions de contrôle



Type	Lepton 1 isolé	Lepton 2 isolé
S	Vrai	Vrai
W	Vrai ↔	Faux
QCD	Faux	Faux

**Type Signal:** Signal, top célibataire, Z+jets, WW, ZZ, WZ avec  $W \rightarrow l\nu$ ,  $Z \rightarrow ll$ ,  
ou  $l = e/\mu$ ,  $\tau \rightarrow e/\mu\nu\nu$

**Type W+jets:** ttbar semi-leptonique, W+jets avec  $W \rightarrow l\nu$

**Type QCD:** QCD multi-jet, ttbar hadronique

$$\begin{aligned}
 N^t &= N_S^t + N_W^t + N_{QCD}^t, \\
 N^m &= N_S^m + N_W^m + N_{QCD}^m, \\
 N^l &= N_S^l + N_W^l + N_{QCD}^l.
 \end{aligned}$$



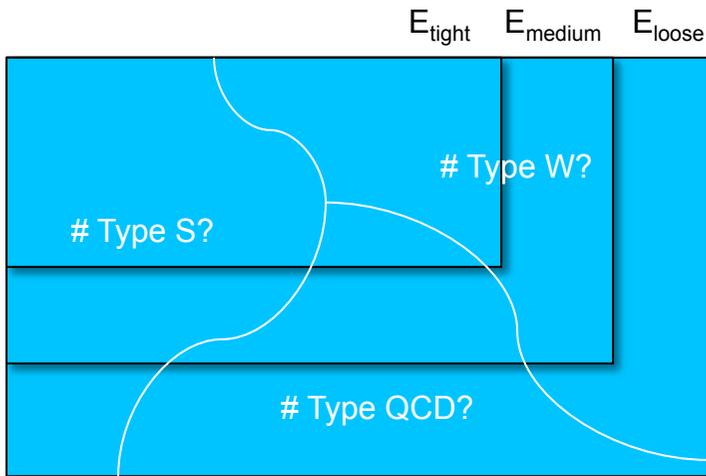
$$\begin{aligned}
 N^t &= \epsilon_S^{l \rightarrow t} N_S^l + \epsilon_W^{l \rightarrow t} N_W^l + \epsilon_{QCD}^{l \rightarrow t} N_{QCD}^l, \\
 N^m &= \epsilon_S^{l \rightarrow m} N_S^l + \epsilon_W^{l \rightarrow m} N_W^l + \epsilon_{QCD}^{l \rightarrow m} N_{QCD}^l, \\
 N^l &= N_S^l + N_W^l + N_{QCD}^l.
 \end{aligned}$$

# Méthode de la matrice

Critères	$I^{rel} \text{ Lepton 1}$	$I^{rel} \text{ Lepton 2}$
Iso tight	< 0.15	< 0.15
Iso medium	< 0.15 ↔ < 0.5	
Iso loose	< 0.5	< 0.5

Région de signal

Régions de contrôle



Type	Lepton 1 isolé	Lepton 2 isolé
S	Vrai	Vrai
W	Vrai ↔ Faux	
QCD	Faux	Faux

**Type Signal:** Signal, top célibataire, Z+jets, WW, ZZ, WZ avec  $W \rightarrow l\nu$ ,  $Z \rightarrow ll$ ,  
ou  $l = e/\mu$ ,  $\tau \rightarrow e/\mu\nu$

**Type W+jets:** ttbar semi-leptonique, W+jets avec  $W \rightarrow l\nu$

**Type QCD:** QCD multi-jet, ttbar hadronique

$$\begin{aligned} N^t &= N_S^t + N_W^t + N_{QCD}^t, \\ N^m &= N_S^m + N_W^m + N_{QCD}^m, \\ N^l &= N_S^l + N_W^l + N_{QCD}^l. \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} N^t &= \epsilon_S^{l \rightarrow t} N_S^l + \epsilon_W^{l \rightarrow t} N_W^l + \epsilon_{QCD}^{l \rightarrow t} N_{QCD}^l, \\ N^m &= \epsilon_S^{l \rightarrow m} N_S^l + \epsilon_W^{l \rightarrow m} N_W^l + \epsilon_{QCD}^{l \rightarrow m} N_{QCD}^l, \\ N^l &= N_S^l + N_W^l + N_{QCD}^l. \end{aligned}$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

$$P(A \cap B) = P(A)P(B)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_S^{l \rightarrow t} &= P(l_{1-}^{\nu} \rightarrow t_1^{\nu} \text{ et } l_{2-}^{\nu} \rightarrow t_2^{\nu}) = P(l_{1-}^{\nu} \rightarrow t_1^{\nu}) P(l_{2-}^{\nu} \rightarrow t_2^{\nu}) = \epsilon_s^2 \\ \epsilon_W^{l \rightarrow t} &= P(l_{1-}^{\nu} \rightarrow t_1^{\nu} \text{ et } l_{2-}^f \rightarrow t_2^f) = P(l_{1-}^{\nu} \rightarrow t_1^{\nu}) P(l_{2-}^f \rightarrow t_2^f) = \epsilon_s \epsilon_f \\ \epsilon_S^{l \rightarrow m} &= P(l_{1-}^{\nu} \rightarrow t_1^{\nu} \text{ ou } l_{2-}^{\nu} \rightarrow t_2^{\nu}) = P(l_{1-}^{\nu} \rightarrow t_1^{\nu}) + P(l_{2-}^{\nu} \rightarrow t_2^{\nu}) \\ &\quad - P(l_{1-}^{\nu} \rightarrow t_1^{\nu}) P(l_{2-}^{\nu} \rightarrow t_2^{\nu}) = 2 \epsilon_s - \epsilon_s^2 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \epsilon_s = f(\#\text{jets}, \eta^l, p_T^l) \\ \epsilon_{\text{fake}} = g(\#\text{jets}, \eta^l, p_T^l) \end{cases}$$

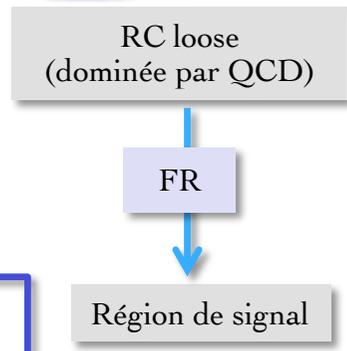
Statistique encore faible pour le faire en 2D



# Estimation avec taux de faux leptons

FR (taux de faux leptons) =  
 = # leptons tight / # leptons loose =  
 =  $f(\eta^l, p_T^l)$

tight  $\Leftrightarrow$  sélection standard  
 loose  $\Leftrightarrow$  1)  $I_{rel} < 0.4$  / loose ID (ee/ $\mu\mu$ )  
 2)  $I_{rel} < 1.0$  } moyennés  
 $\pm$  (la plus large incertitude)  
 ID = forme et matching du cluster



$$N_{nn}^{QCD} = \sum_{ij} \frac{FR_i FR_j}{(1 - FR_i)(1 - FR_j)} N_{nn}^{ij}$$

i = binning  
 j = saveur du lepton  
 n =  $\ell$  numérateur  
 $\bar{n}$  =  $\ell$  non numérateur

$$N_{nn}^{Wj,raw} = \sum_{ij} \frac{FR_j}{(1 - FR_j)} N_{nn}^{ij}$$

Selection	$N_{jet} = 1$	$N_{jet} \geq 2$
$e^+e^-$ : $\cancel{E}_T > 50$ GeV in $N_{jet} = 1$ , $\cancel{E}_T > 30$ GeV in $N_{jet} \geq 2$		
Simulated	$1.0 \pm 0.3$	$0.6 \pm 0.1$ STAT
Estimate in data	$0.3 \pm 0.3$	$1.1 \pm 1.4$ STAT + SYST
$\mu^+\mu^-$ : $\cancel{E}_T > 50$ GeV in $N_{jet} = 1$ , $\cancel{E}_T > 30$ GeV in $N_{jet} \geq 2$		
Simulated	$0.1 \pm 0.1$	$0.1 \pm 0.1$
Estimate in data	$0.1 \pm 0.3$	$0.6 \pm 1.1$
$e^\pm\mu^\mp$ :		
Simulated	$1.0 \pm 0.3$	$1.6 \pm 0.3$
Estimate in data	$1.3 \pm 0.8$	$1.4 \pm 1.6$
$e^+e^-$ : with b tagging, $\cancel{E}_T > 30$ GeV		
Simulated	$0.3 \pm 0.1$	$0.3 \pm 0.1$
Estimate in data	$0.3 \pm 0.5$	$0.9 \pm 1.2$
$\mu^+\mu^-$ : with b tagging, $\cancel{E}_T > 30$ GeV		
Simulated	$0.0 \pm 0.1$	$0.1 \pm 0.1$
Estimate in data	$0.1 \pm 0.3$	$0.3 \pm 0.8$
$e^\pm\mu^\mp$ : with b tagging		
Simulated	$0.3 \pm 0.1$	$1.0 \pm 0.1$
Estimate in data	$1.3 \pm 1.1$	$0.5 \pm 1.1$

$$N_{nn}^{Wj} = N_{nn}^{Wj,raw} - 2N_{nn}^{QCD} - \Delta_{signal}$$

$$\Delta_{signal} = N_{nn} \cdot SR_{\ell\ell}$$

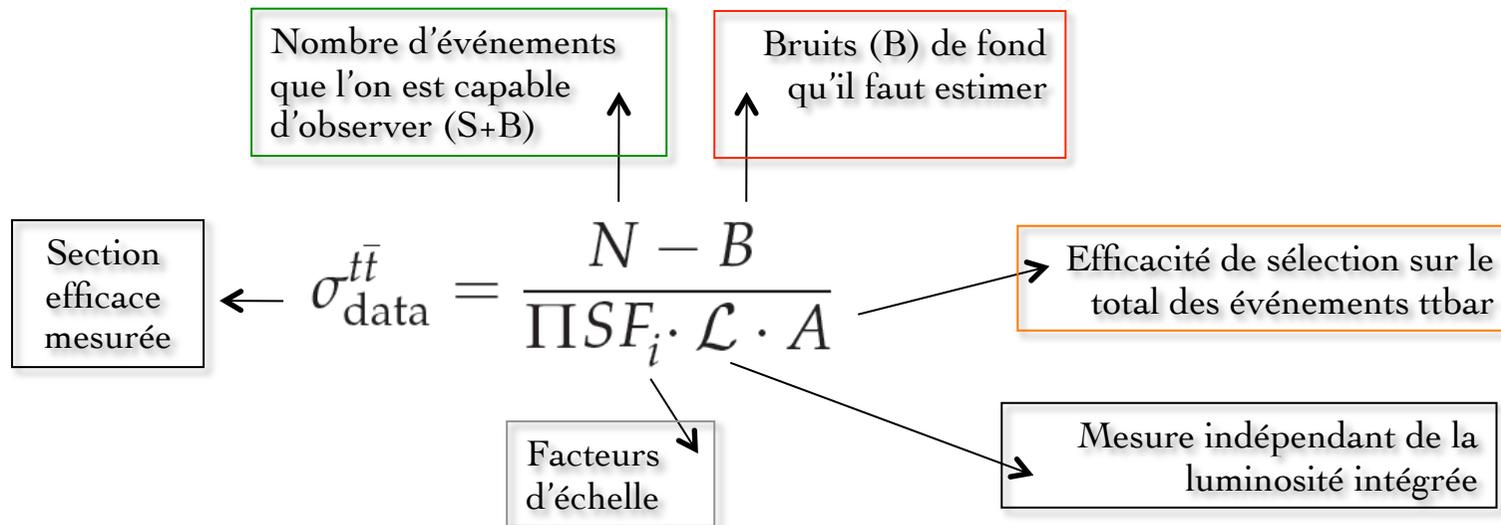
$$SR_{ee} = \frac{1}{N_{nn}^{Zee}} \sum_{ij} \frac{FR_j}{(1 - FR_j)} N_{nn}^{ij,Zee}$$

Contamination leptons des W/Z non profondément virtuelles

- Incertitude systématiques:**
- Spectre d'impulsion RC  $\leftrightarrow$  RS  $\Rightarrow$  60(25)%  $\mu(e)$
  - Composition de saveurs RC  $\leftrightarrow$  RS  $\Rightarrow$  20%
  - Sélection de trigger RC  $\leftrightarrow$  RS  $\Rightarrow$  20%
  - Contribution du signal EFB  $\Rightarrow$  20%
  - TOTAL FR<sup>e</sup>  $\approx$  50%  $\Rightarrow$  50(100)% W+jets(QCD)
  - TOTAL FR <sup>$\mu$</sup>   $\approx$  75%  $\Rightarrow$  75(100)% W+jets(QCD)

STAT  $\geq$  SYST   
 $\Delta_{signal}$  mesuré  $\approx$  # estimés 

# Systematiques et facteurs d'échelle



% relative au # signal sélectionnés

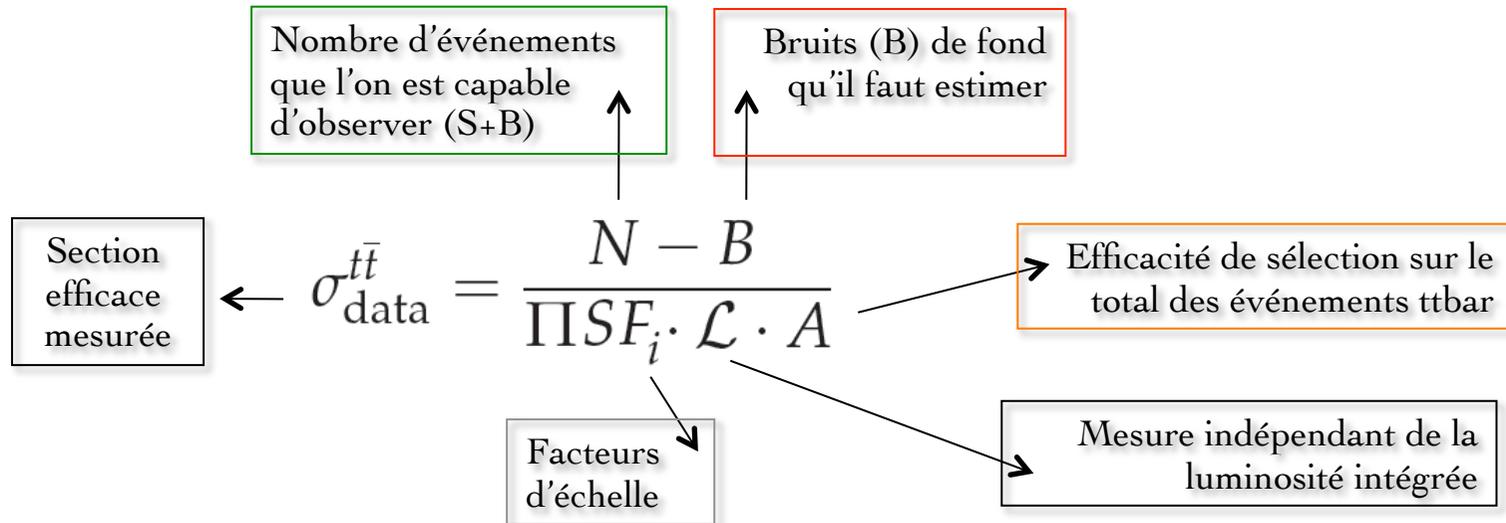
Source	$N_{jet} = 1$		$N_{jet} \geq 2$	
	$e^+e^- + \mu^+\mu^-$	$e^\pm\mu^\mp$	$e^+e^- + \mu^+\mu^-$	$e^\pm\mu^\mp$
Lepton selection	1.91/1.30	1.11	1.91/1.30	1.11
Energy scale	-3.0	-5.5	3.8	2.8
Lepton selection model	4.0	4.0	4.0	4.0
Branching ratio	1.7	1.7	1.7	1.7
Decay model	2.0	2.0	2.0	2.0
Event $Q^2$ scale	8.2	10	-2.3	-1.7
Top-quark mass	-2.9	-1.0	2.6	1.5
Jet and $E_T$ model	-3.0	-1.0	3.2	0.4
Shower model	1.0	3.3	-0.7	-0.7
Pileup	-2.0	-2.0	0.8	0.8
Subtotal (before tags)	11.2/11.1	13.1	8.0/7.9	6.2
b tagging ( $\geq 1$ b tag)			5.0	5.0
Subtotal with tags			9.5/9.4	8.0
Luminosity	4	4	4	4

SF	ee	$\mu\mu$	$e\mu$	Pile-up, Luminosité, $\epsilon^l$
$\geq 2$ jets	0.883	0.926	0.906	
= 1 jet	0.843	0.884	0.886	

Méthode de Van der Meer => 4%

Systematiques liées aux estimations  
 Section efficace => 30% conservative  
 Luminosité => 4%  
 Sélection (sources comme pour le S) => 10%  
 b-tag => top célibataire (10%), DY-> $\tau\tau$  (25%)

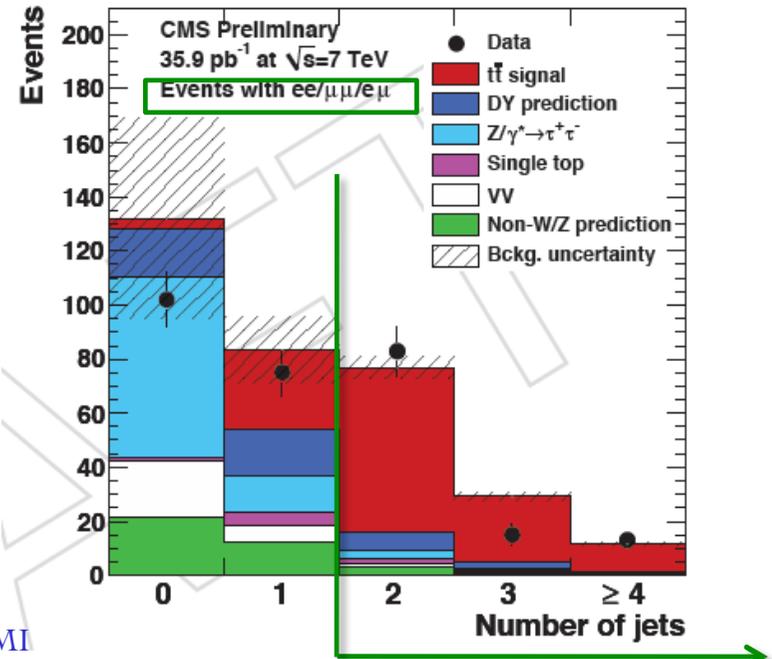
# Section efficace



Final state	$e^+e^-$	$\mu^+\mu^-$	$e^\pm\mu^\mp$
At least two jets, no b-tagging requirement			
Events in data	23	28	60
All backgrounds	$5.5 \pm 2.3$	$9.5 \pm 4.3$	$6.7 \pm 2.0$
Total acceptance, %	$0.259 \pm 0.021$	$0.324 \pm 0.025$	$0.928 \pm 0.057$
Cross section, pb	$189 \pm 52 \pm 29 \pm 8$	$159 \pm 45 \pm 39 \pm 6$	$160 \pm 23 \pm 12 \pm 6$
At least two jets, at least one b-jet			
Events in data	15	24	51
All backgrounds	$2.3 \pm 1.4$	$3.8 \pm 2.0$	$3.0 \pm 1.4$
Total acceptance, %	$0.236 \pm 0.022$	$0.303 \pm 0.028$	$0.857 \pm 0.068$
Cross section, pb	$150 \pm 46 \pm 22 \pm 6$	$186 \pm 45 \pm 25 \pm 7$	$156 \pm 23 \pm 13 \pm 6$
One jet, no b-tagging requirement			
Events in data	8	10	18
All backgrounds	$2.1 \pm 0.7$	$7.1 \pm 4.3$	$4.9 \pm 1.5$
Total acceptance, %	$0.058 \pm 0.007$	$0.074 \pm 0.008$	$0.183 \pm 0.024$
Cross section, pb	$282 \pm 135 \pm 45 \pm 11$	$107 \pm 119 \pm 163 \pm 4$	$200 \pm 65 \pm 35 \pm 8$

STAT + SYST + LUMI

Marco CARDACI



# Section efficace combinée

Sections efficaces

Méthode  
BLUE

Section efficace  
combinée

Incertitudes  
systématiques et  
statistiques

### Corrélations incertitudes statistiques:

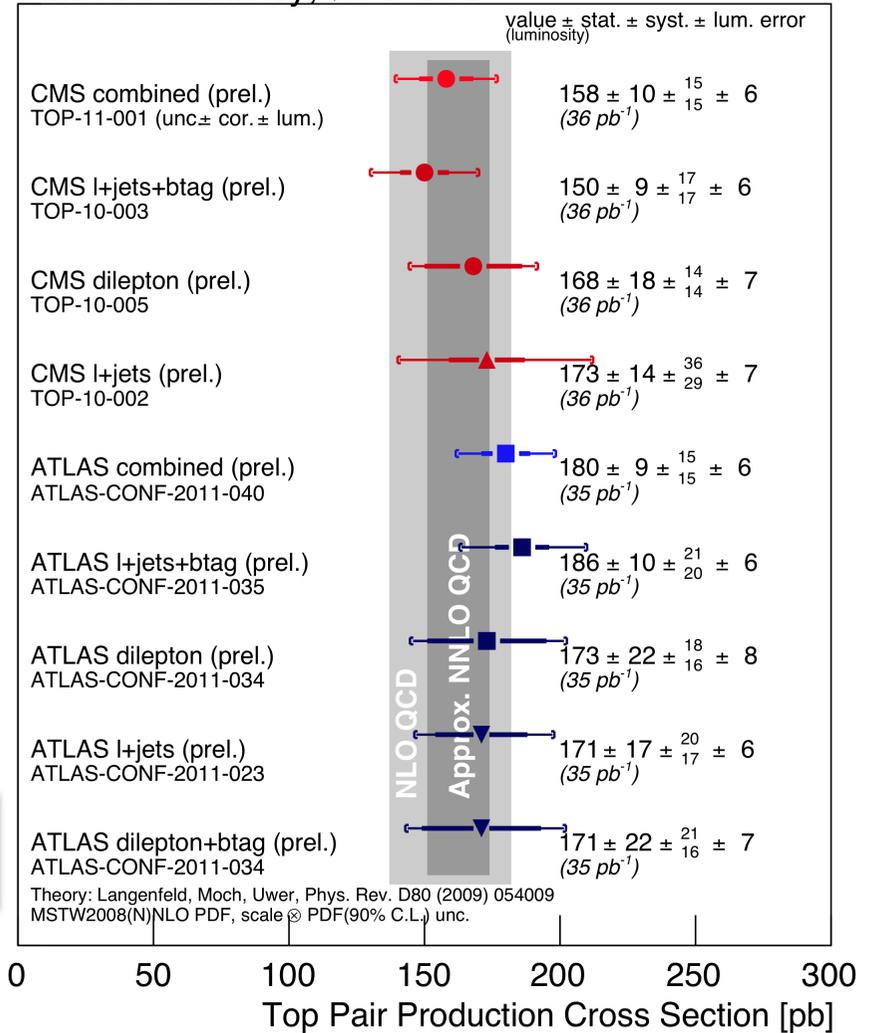
- Toy MC pour évaluer corrélation  $N_{\text{jets}} \geq 1$  avec  $\leftrightarrow$  sans b-tag
- Pas corrélation  $N_{\text{jets}} = 1$

### Corrélation incertitudes systématiques:

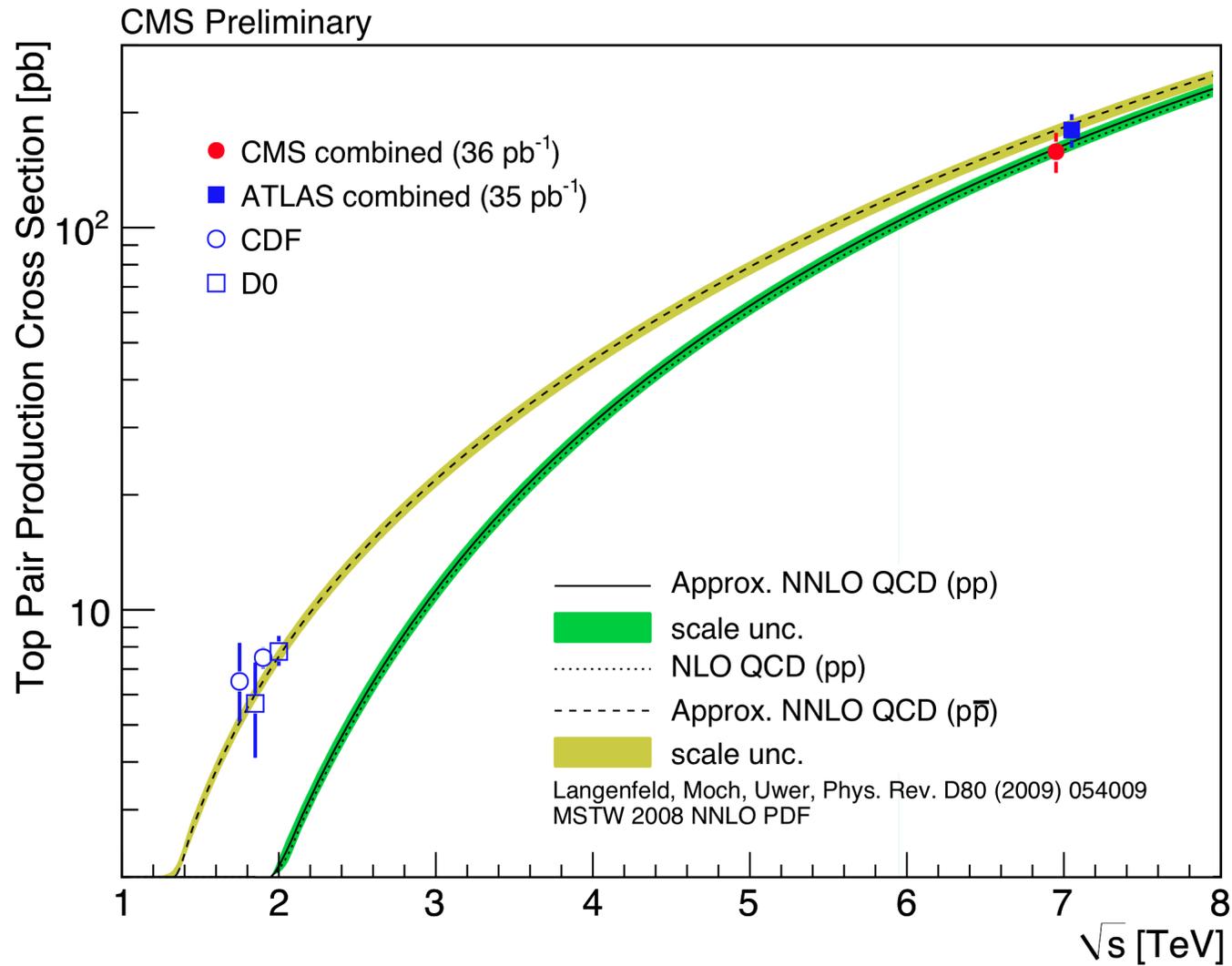
- Pas corrélation entre  $DY_{ee}$  et  $\mu\mu$
- Pas corrélation entre estimation faux leptons entre  $ee$  et  $\mu\mu$
- 100% corrélation entre  $ee$  et  $e\mu$  &  $\mu\mu$  et  $e\mu$
- 83% corrélation entre  $SF^{ee}$  et  $SF^{e\mu}$  & 56% entre  $SF^{\mu\mu}$  et  $SF^{e\mu}$
- 100% corrélés toutes les autres systématiques

$$168 \pm 18(\text{stat}) \pm 14(\text{syst}) \pm 7(\text{lum}) \text{ pb}$$

CMS Preliminary,  $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$



# Comparaison avec le Tevatron

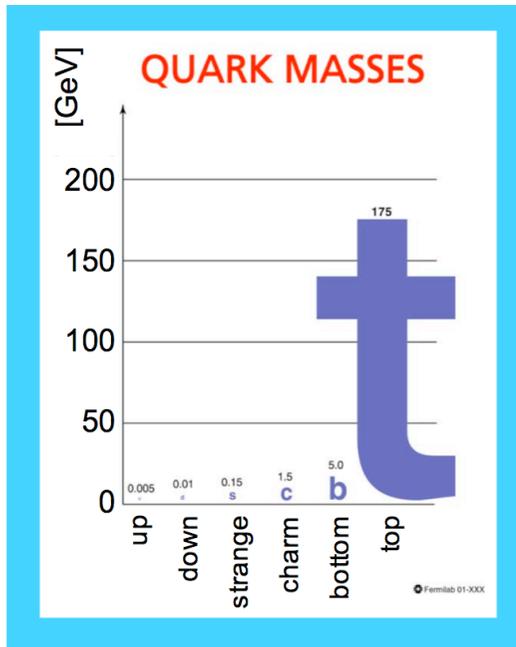


# La physique du quark top

# La physique du quark top

(introduction un peu phénoménologique et surtout non exhaustive)

# La physique du quark top



Une masse exceptionnellement large  $\sim 173 \text{ GeV}/c^2$

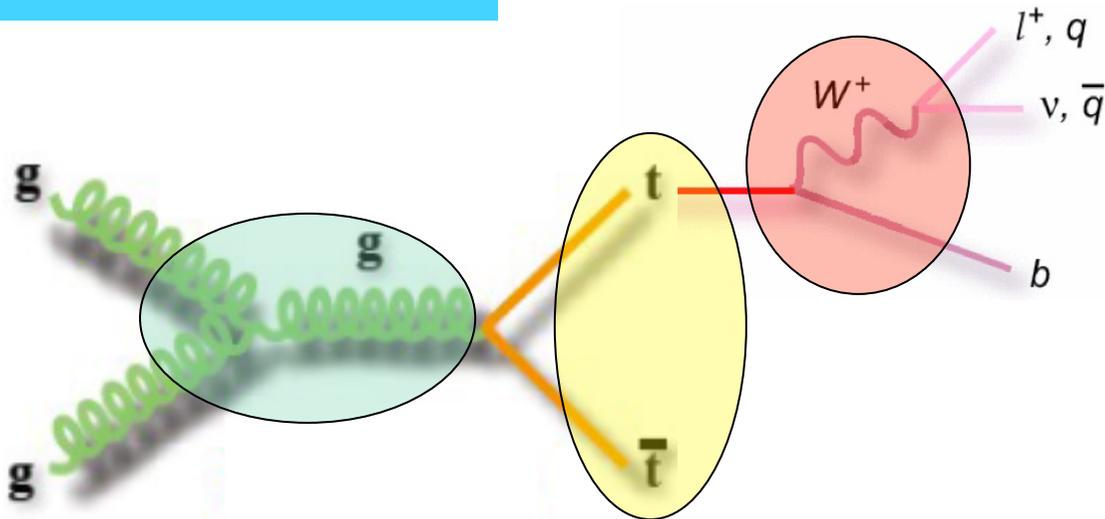
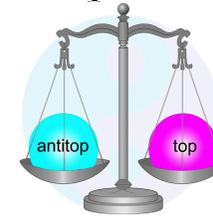
( $\sim$  la masse du  $^{197}\text{Au} \Leftrightarrow 118 \text{ n}, 79 \text{ p}, 79 \text{ e}^-$ )

$\Rightarrow$  rôle privilégié dans brisure de symétrie dans le secteur électrofaible

Une durée de vie exceptionnellement courte  $\sim 5 \times 10^{-25} \text{ s} \ll \Lambda_{\text{QCD}}^{-1}$

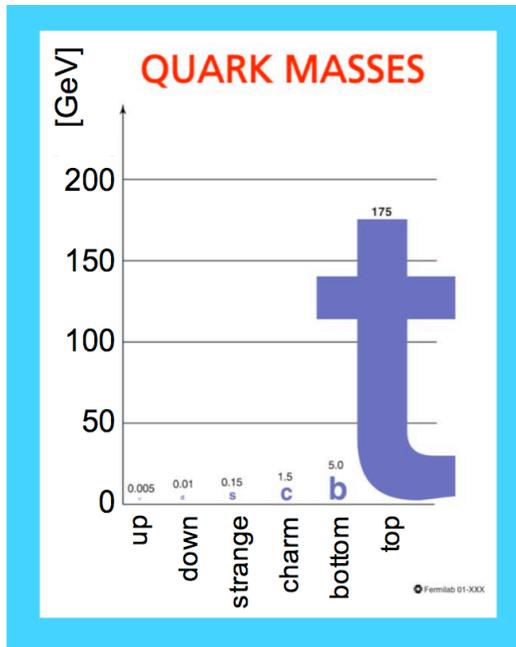
$\Rightarrow$  désintégration avant hadronisation  $\Rightarrow$  accès au quark libre  $\Rightarrow$  mesure direct de la masse  $\Rightarrow$  test CPT

Fort couplage au boson de Higgs  $\lambda_t \sim 1$



- Section efficace
- Résonances
- Corrélation de spin
- Asymétrie de charge
- Différence de masse
- Hélicité du boson W

# La physique du quark top



Une mass exceptionnellement large  $\sim 173 \text{ GeV}/c^2$

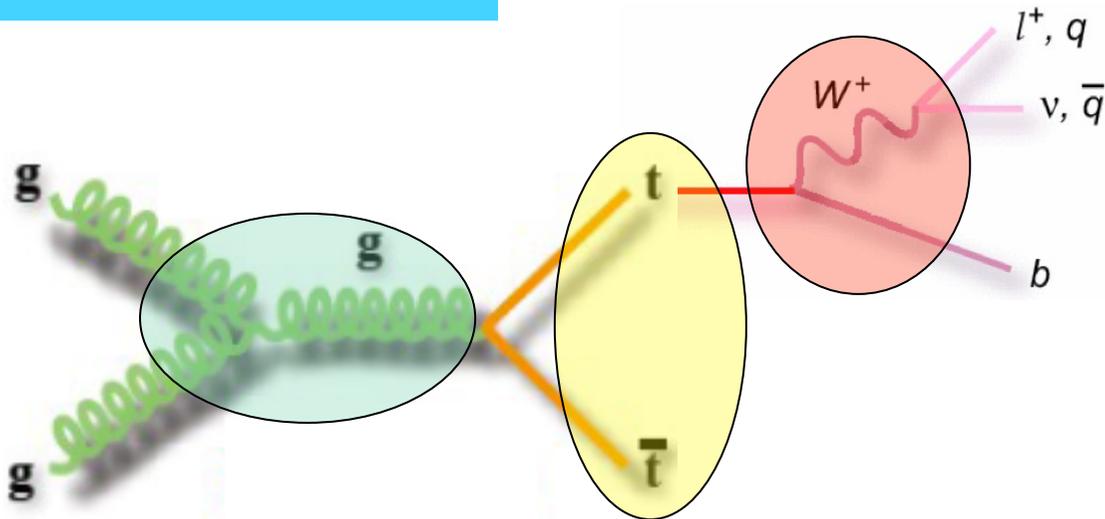
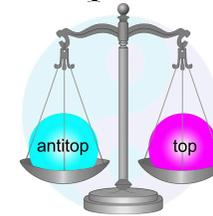
( $\sim$  la mass du  $^{197}\text{Au} \Leftrightarrow 118 \text{ n}, 79 \text{ p}, 79 \text{ e}^-$ )

=> rôle privilège dans brisure de symétrie dans le secteur électrofaible

Une durée de vie exceptionnellement courte  $\sim 5 \times 10^{-25} \text{ s} \ll \Lambda_{\text{QCD}}^{-1}$

=> désintégration avant hadronisation => accès au quark libre => mesure direct de la masse => test CPT

Fort couplage au boson de Higgs  $\lambda_t \sim 1$



Section efficace

Résonances

Corrélation de spin  
Asymétrie de charge

Différence de masse

Hélicité du boson W

# Boson de Higgs chargé

MSSM

$$m_{H^\pm} < m_t - m_b$$



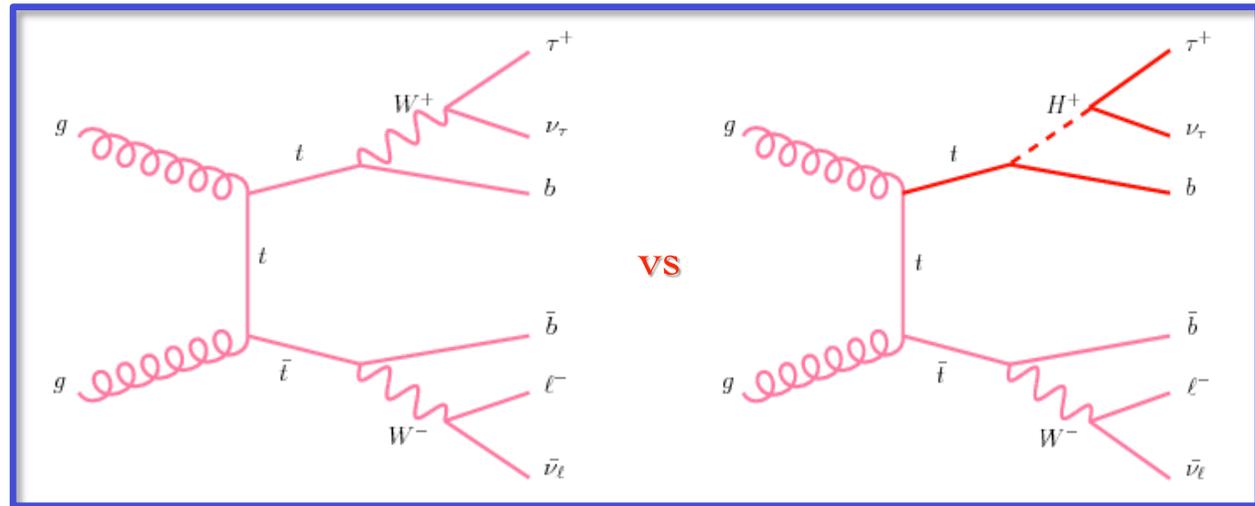
$$t \rightarrow H^\pm b$$

$$\tan \beta > 3$$

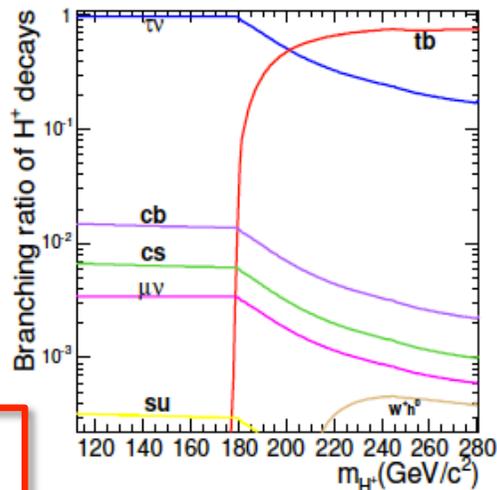


$$\text{BR}(H^\pm \rightarrow \tau^\pm \nu) > 90\%$$

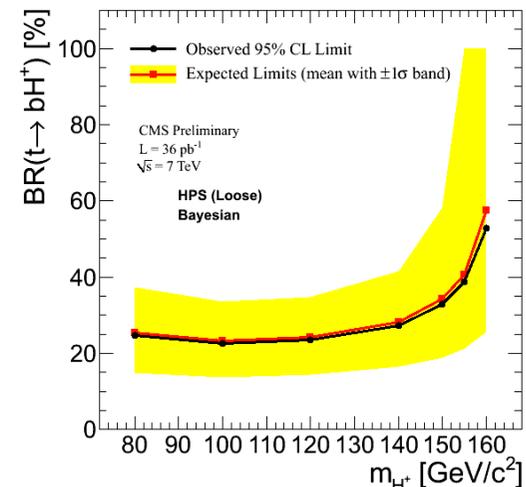
$tt \rightarrow WbHb \rightarrow bl\nu b\tau\nu$  avec  $\tau$  leptonique



$$\tan \beta = 20$$



$tt \rightarrow WbHb \rightarrow bl\nu b\tau\nu$  avec  $\tau$  hadronique

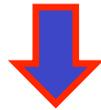
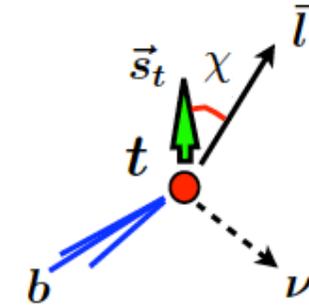


$$\text{BR}(H^\pm \rightarrow \tau^\pm \nu) = 1$$

# Corrélation de spin

Production:  $Z', G, \text{Techni-}\eta, \text{bosons vecteur Topcolor}$   
 Désintégration:  $H^\pm$

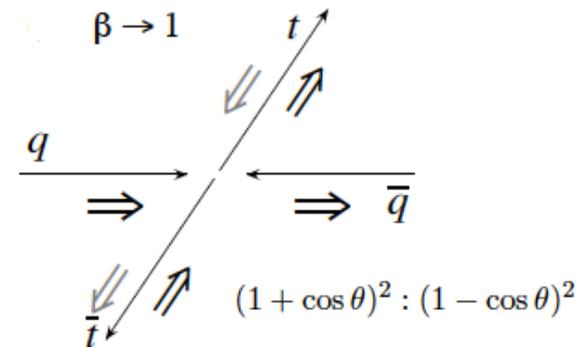
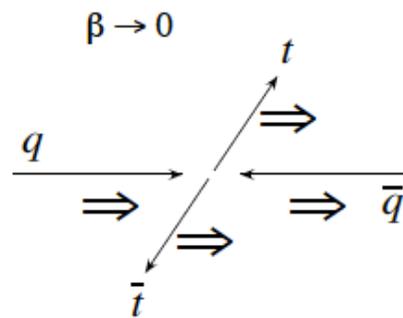
$$\frac{1}{\Gamma_T} \frac{d\Gamma}{d \cos \chi_i} = (1 + \alpha_i \cos \chi_i) / 2 \quad \alpha_i = \begin{cases} +1.0 & l^+ \text{ or } \bar{d}\text{-quark} \\ -0.31 & \bar{\nu} \text{ or } u\text{-quark} \\ -0.41 & b\text{-quark} \end{cases}$$



$$\frac{1}{\sigma_T} \frac{d^2\sigma}{d \cos \chi_i d \cos \bar{\chi}_i} = \frac{1}{4} (1 + C_{t\bar{t}} \alpha_i \bar{\alpha}_i \cos \chi_i \cos \bar{\chi}_i)$$

$$C_{t\bar{t}} \equiv \frac{\sigma_{\uparrow\uparrow} + \sigma_{\downarrow\downarrow} - \sigma_{\uparrow\downarrow} - \sigma_{\downarrow\uparrow}}{\sigma_{\uparrow\uparrow} + \sigma_{\downarrow\downarrow} + \sigma_{\uparrow\downarrow} + \sigma_{\downarrow\uparrow}}$$

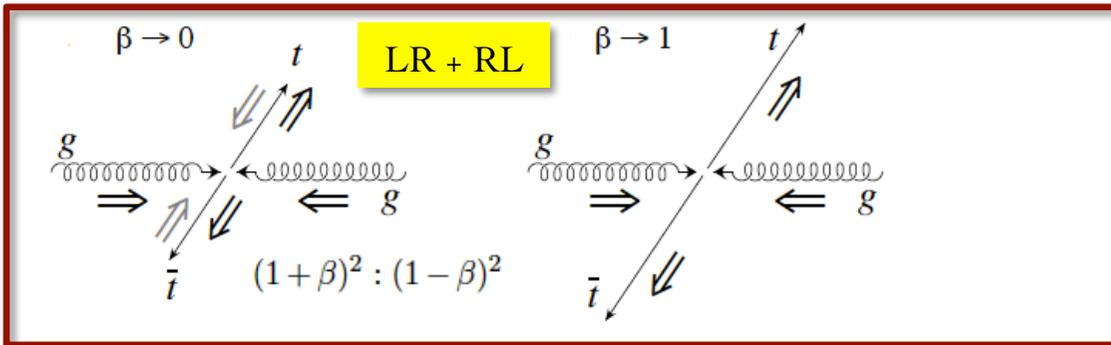
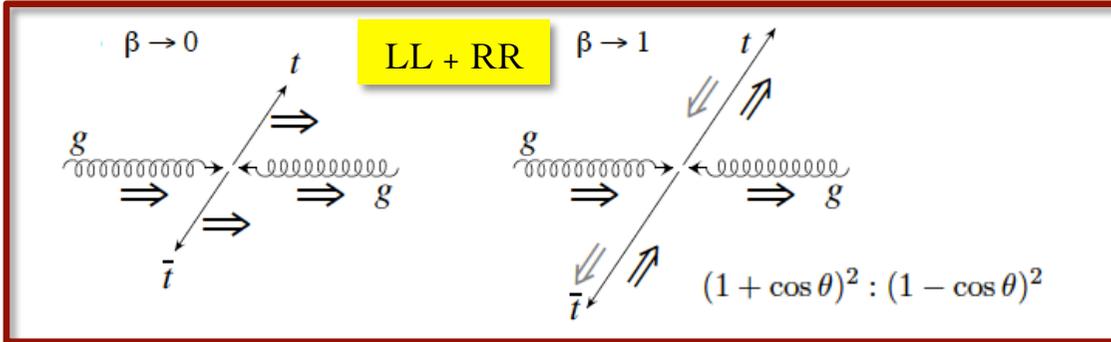
~ 15%



~ 85%

# Corrélation de spin

@ 14 TeV



	$\beta\gamma s_\theta < 1$	$\beta\gamma s_\theta > 1$	all
gg Like	55%	10%	65%
gg Unlike	20%	15%	35%
Total	75%	25%	100%

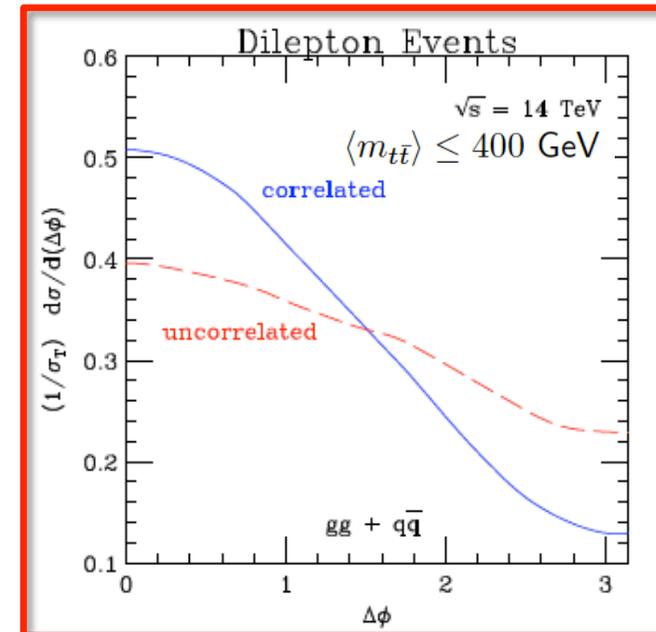
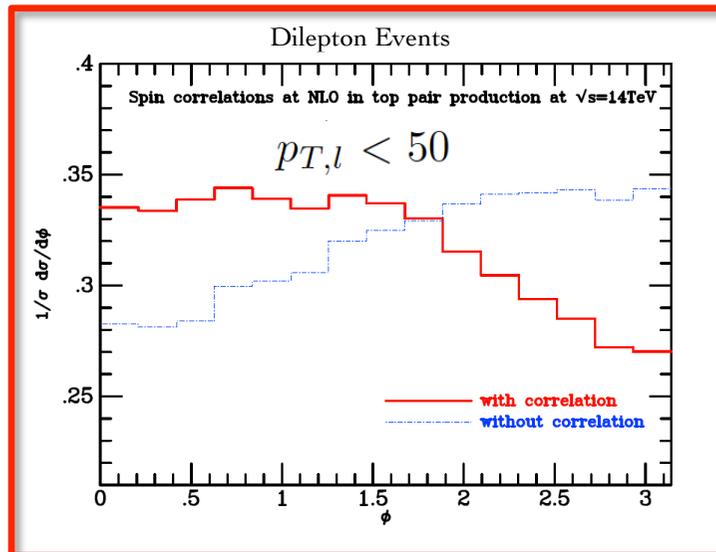
Bas  $\beta$ : les boost ne détériore pas la corrélation

Les gluons de la même élicité dominant le mécanisme de production

$\beta \leq 0.5$  or  $m_{t\bar{t}} \leq 400$  GeV

$p_T^l > 20$  GeV and  $|\eta| < 3$

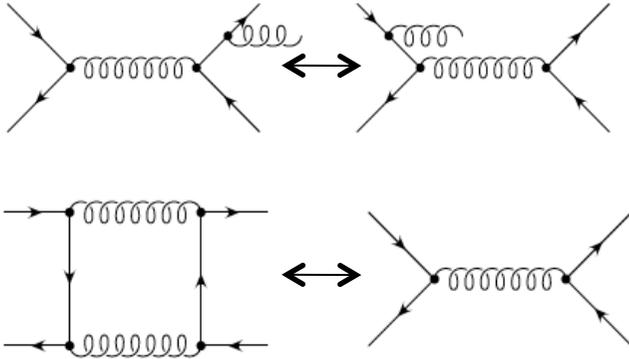
- $p_{T,l} > 20$  GeV
- $p_{T,bjet} > 25$  GeV
- $p_{T,miss} > 40$  GeV
- $\eta, \eta_{bjet} < 2.5$



$O(\alpha_s^3)$ 

# Asymétrie de charge

Interférence état initial/final:



+

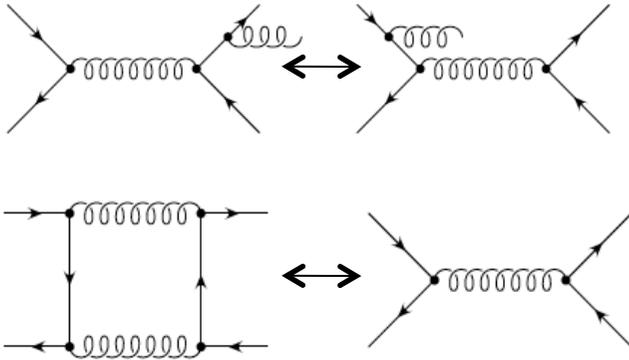
Interférence des amplitudes qui contribuent à:

$$gq \rightarrow t\bar{t}q \quad g\bar{q} \rightarrow t\bar{t}\bar{q}$$

$$O(\alpha_s^3)$$

## Asymétrie de charge

Interférence état initial/final:



Au Tevatron

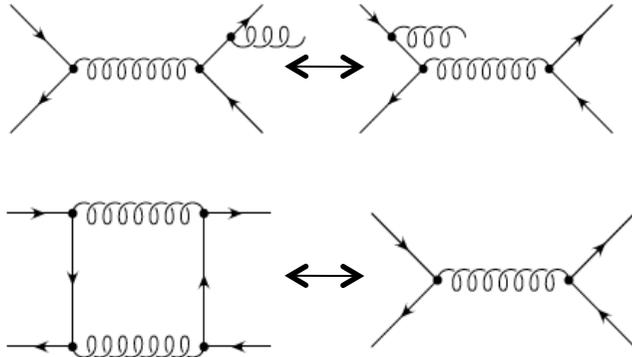
Asymétrie de charge avant-arrière

car top(antitop) produit de préférence dans la direction d'arrive de proton(antiproton)

$$O(\alpha_s^3)$$

# Asymétrie de charge

Interférence état initial/final:



Au Tevatron

Asymétrie de charge avant-arrière

car top(antitop) produit de préférence dans la direction d'arrive de proton(antiproton)

Inconvénients au LHC

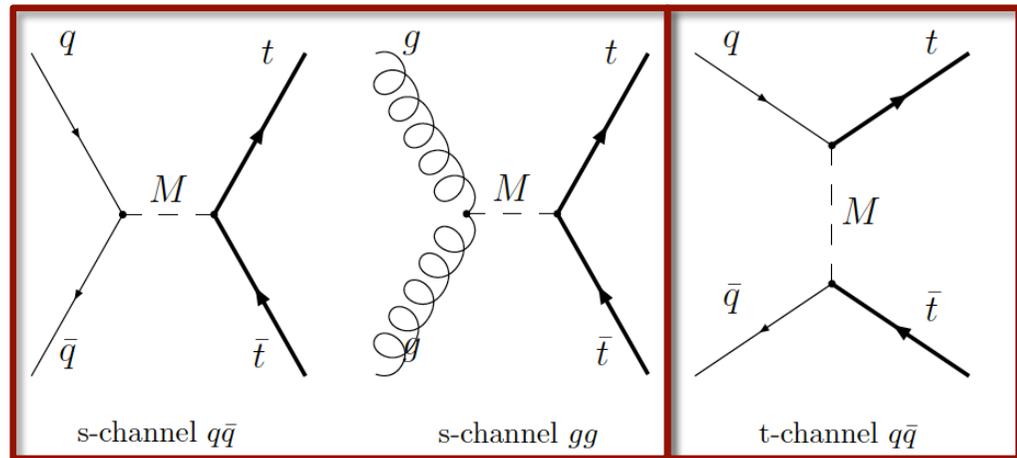
- 1) État initial pp: symétrique
- 2) Fusion de gluons: symétrique par rapport à la charge

Solutions

- 1) Regarder l'asymétrie de  $|\eta_t| - |\eta_{\bar{t}}|$
- 2) Sélectionner grande  $m_{t\bar{t}}$  pour réduire la fusion de gluons, au même temps pour s'affranchir à la masse de boson médiateur de nouvelle physique

$Z_H'$ ,  $W'$ , triplet & sextet scalaires

Axigluon de le octet de couloir

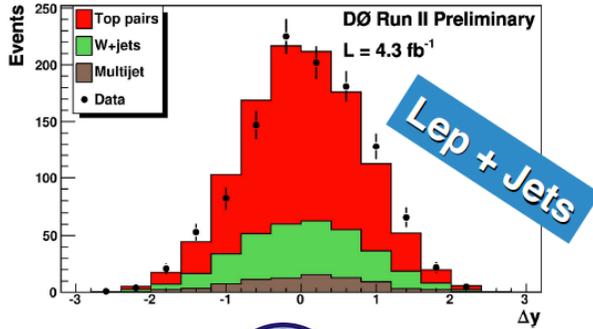


Grande masses pour éviter contrainte dijet

Grande violation de saveur (supprimée entre jets légers et  $q_L$ 's) pour éviter contrainte dijet



# Asymétrie de charge

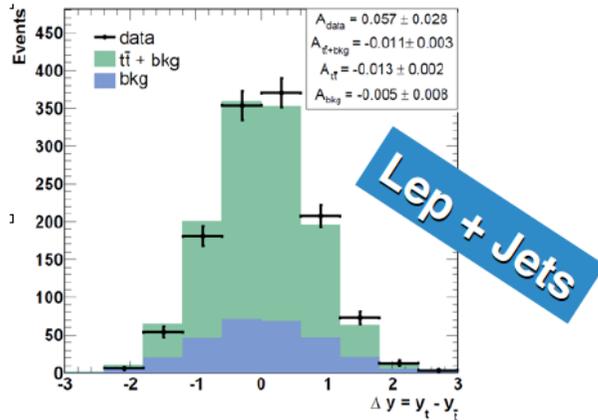


$$A_{\text{FB}}^{\text{SM}} = 1 \pm 1.5 \%$$

$$A_{\text{FB}}^{\text{D}^0} = 8 \pm 4 \%$$

2  $\sigma$

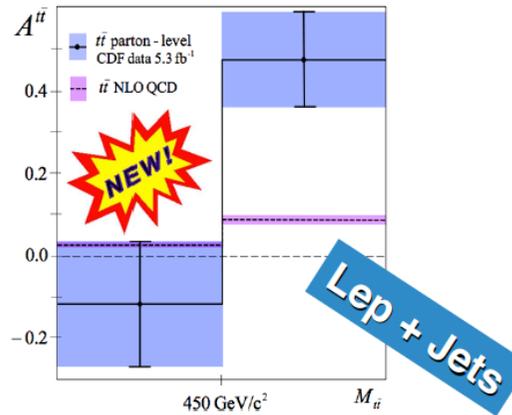
Plots de Moriond EFB 2011



$$A_{\text{FB}}^{\text{SM}} = 5.0 \pm 1.5 \%$$

$$A_{\text{FB}}^{\text{D}^0} = 15 \pm 5 \%$$

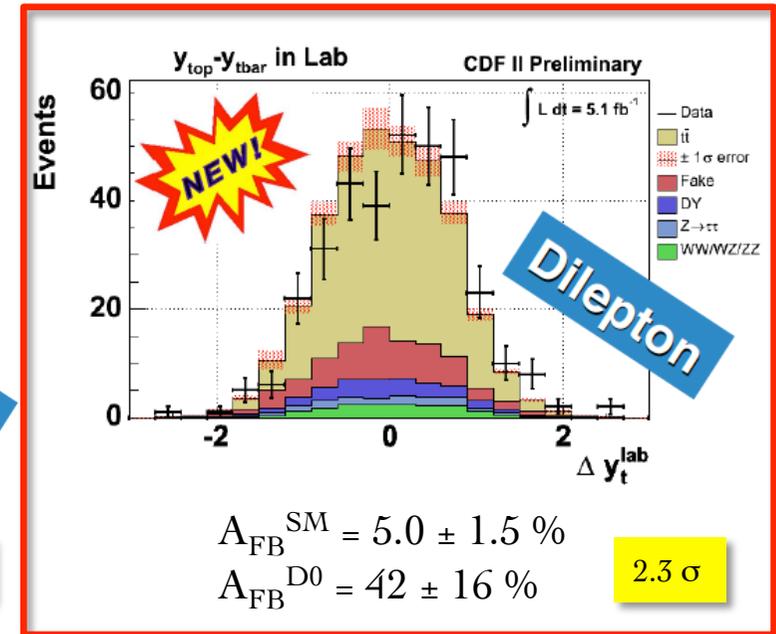
2  $\sigma$



$$A_{\text{FB}}^{\text{SM}} = 8.8 \pm 1.3 \%$$

$$A_{\text{FB}}^{\text{D}^0} = 48 \pm 11 \%$$

3  $\sigma$



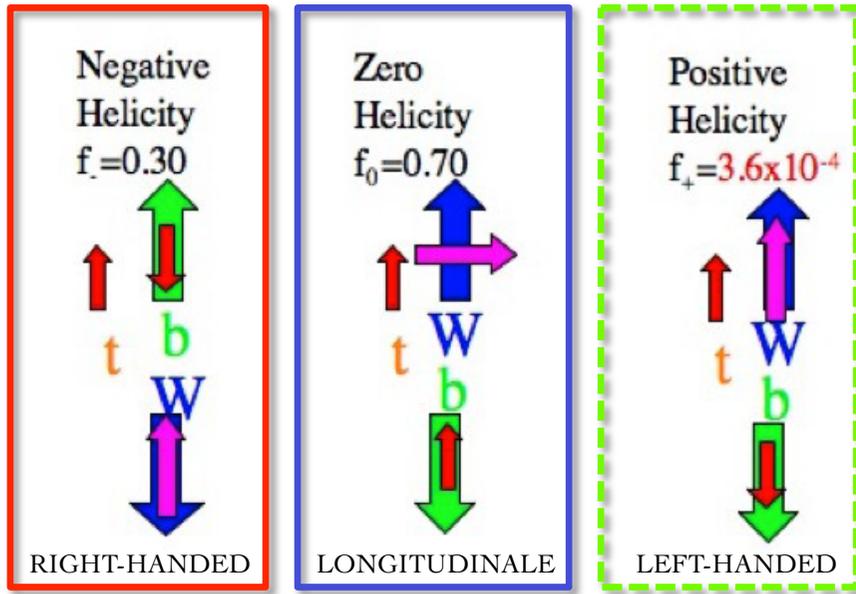
$$A_{\text{FB}}^{\text{SM}} = 5.0 \pm 1.5 \%$$

$$A_{\text{FB}}^{\text{D}^0} = 42 \pm 16 \%$$

2.3  $\sigma$

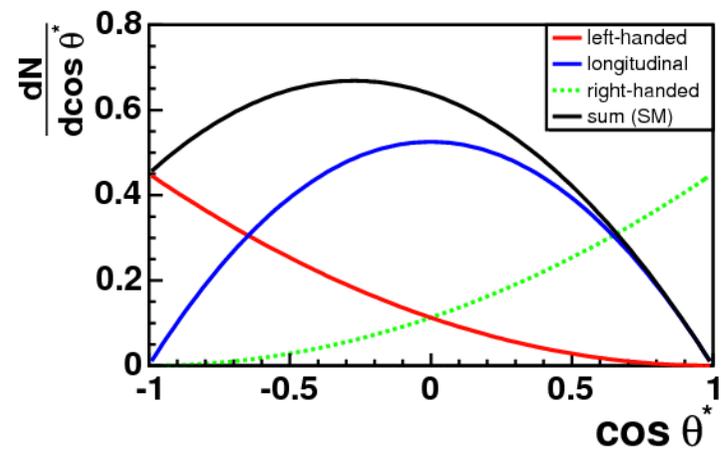
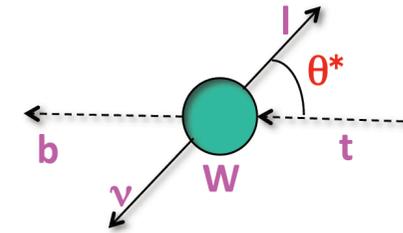
V - A

# Polarisation du boson W



$$M_t > M_W$$

$$\times (m_b/m_t)^2$$

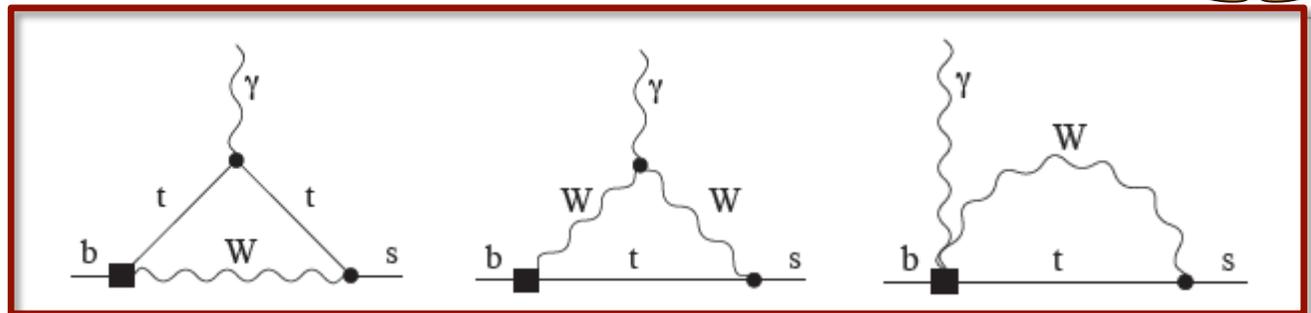
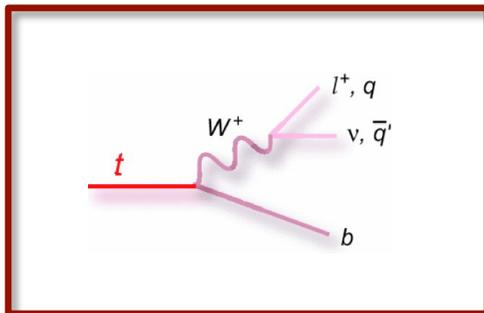


(V - A) et (V + A)

Observation directe

$b \rightarrow s \gamma$

Observation indirecte



Marco CARDACI

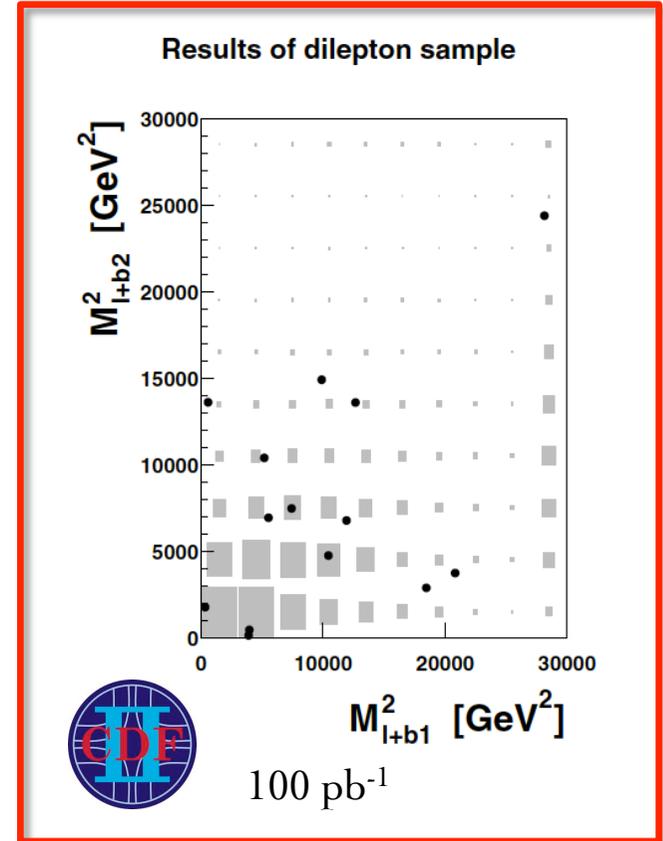
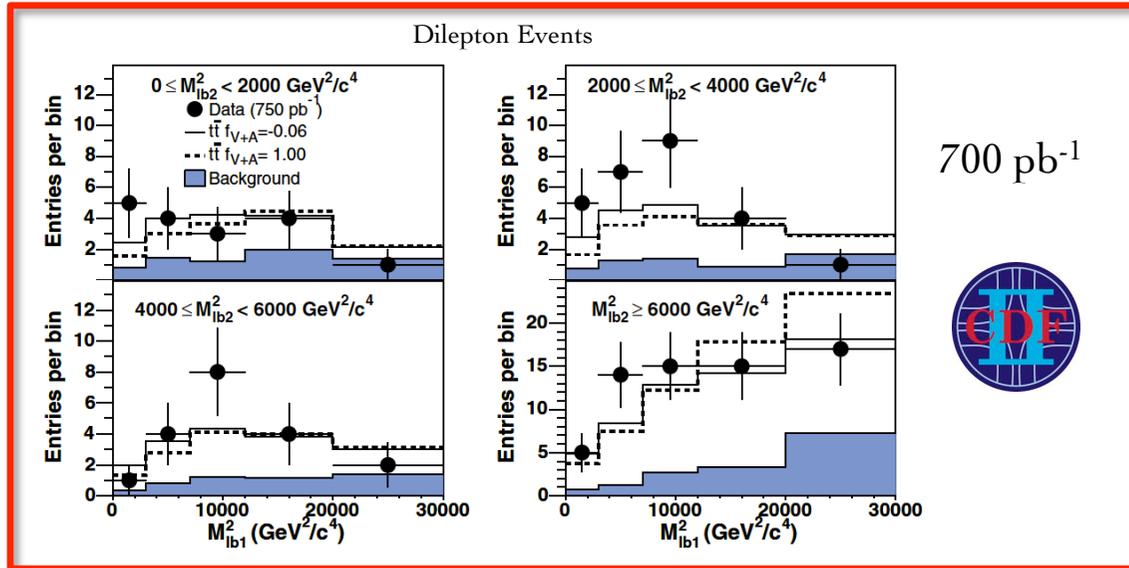
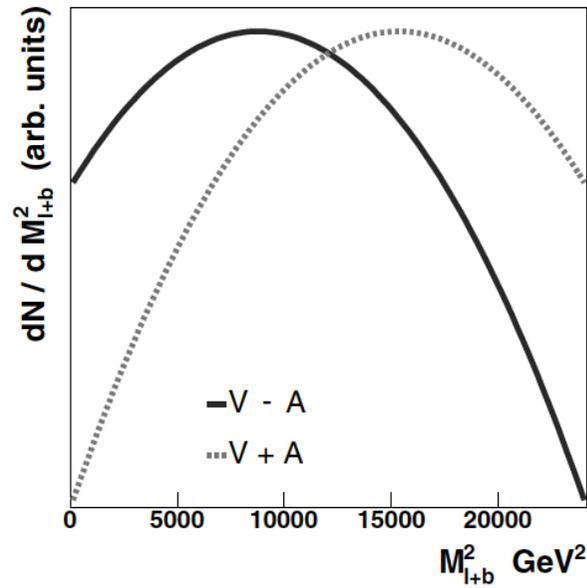
# Polarisation du boson W

Test des couplages anomaux  $tWb$

$$M_{lb}^2 = \frac{1}{2}(M_t^2 - M_W^2)(1 + \cos \theta^*)$$

Avantages:

- Pas besoin des infos sur les systèmes du top et du W
- Pas besoin de connaître la MET



Marco CARDACI

## Conclusions

La faisabilité d'utiliser un seul canal (le top-antitop en dilepton) au LHC pour mesurer plusieurs propriétés du quark top, a été démontrée

Les mesures proposées (section efficace, corrélation de spin, asymétrie de charge et polarisation du boson W) couvrent un spectre de nouvelle physique considérable

La mesure de la section efficace a été déjà réalisée en s'appuyant sur des techniques d'estimation des bruits de fond à partir des données

Parmi les mesures proposées, celle de l'asymétrie de charge apparaîtrait la plus intéressante en vue des nouvelles confirmations de déviation du modèle standard qui vient du Tevatron

Toutes les mesures seront réalisées avec l'aide de techniques d'estimation de bruits de fond

Dans cette ligne de développement apparaîtrait naturelle d'investiguer l'existence d'un boson de Higgs chargé dans le canal top dileptonique