



Déclenchement et Mesures des Electrons dans CMS: sur la Piste du Higgs



Sur la piste du Higgs...

- Le Boson de Higgs
 - Modèle Standard
 - Analyse $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$
- Les Premières Etapes
 - Déclenchement
 - Mesures des Electrons
 - Premiers Candidats
- Et si on cherche un peu plus loin...
 - Mécanisme de Seesaw



Le Boson de Higgs

- Modèle Standard
- Analyse $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$



Le Modèle Standard



- Modèle Standard
 - 3 générations de fermions (quarks et leptons)
 - Bosons vecteurs, médiateurs des interactions électrofaible et forte

- Brisure de symétrie électrofaible et Champ de Higgs

- Confère leur masse aux bosons vecteurs

Three Generations of Matter (Fermions)

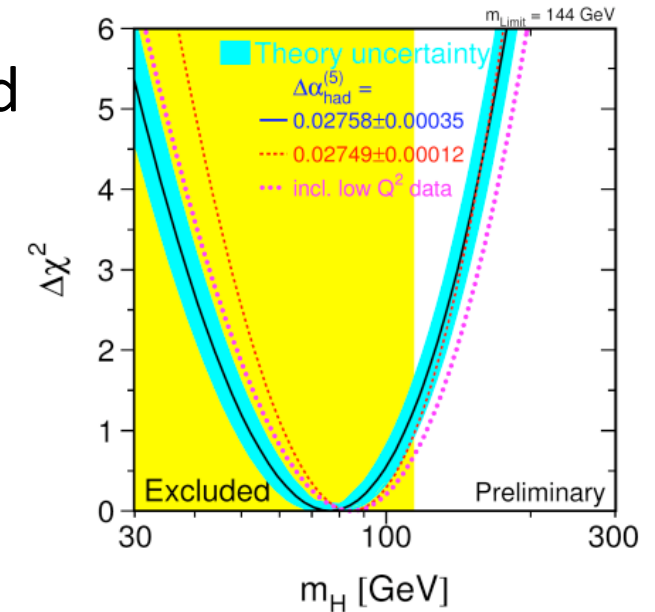
	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV ⁰
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV [±]
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W_± weak force

Bosons (Forces)



Le Modèle Standard

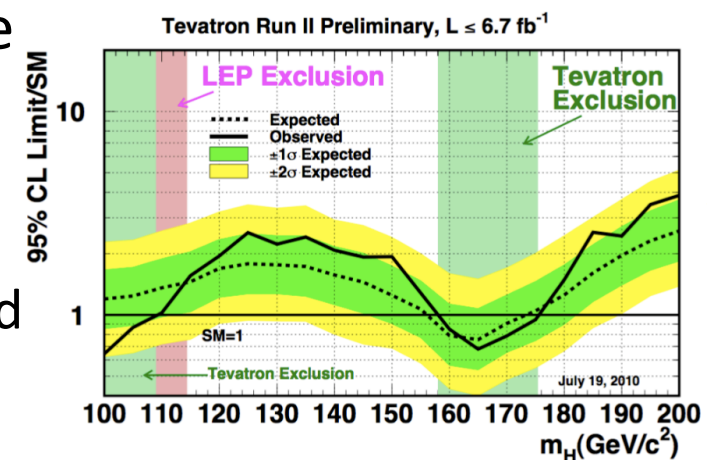
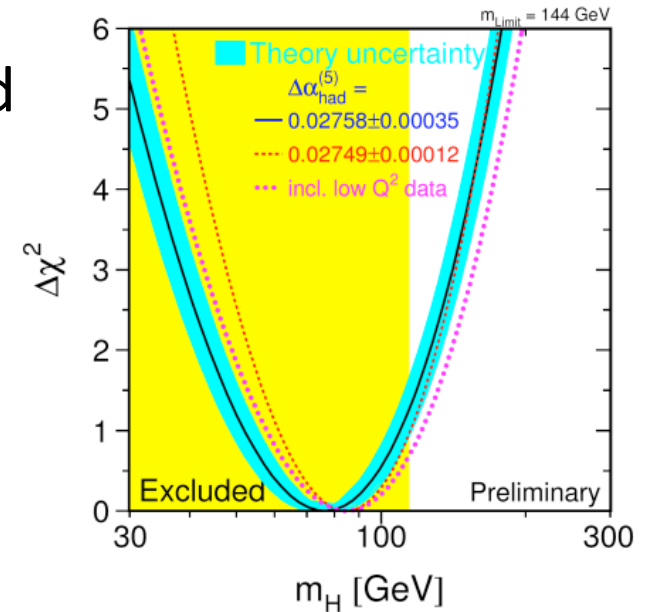
- 40 ans d'expériences sur le Modèle Standard
 - Découverte de particules prédites :
Bosons W et Z, gluons, quarks top et charme
 - Mais toujours pas de boson de Higgs...
- Limites du Modèle Standard
 - Masse des neutrinos, hiérarchie, gravitation...





Le Modèle Standard

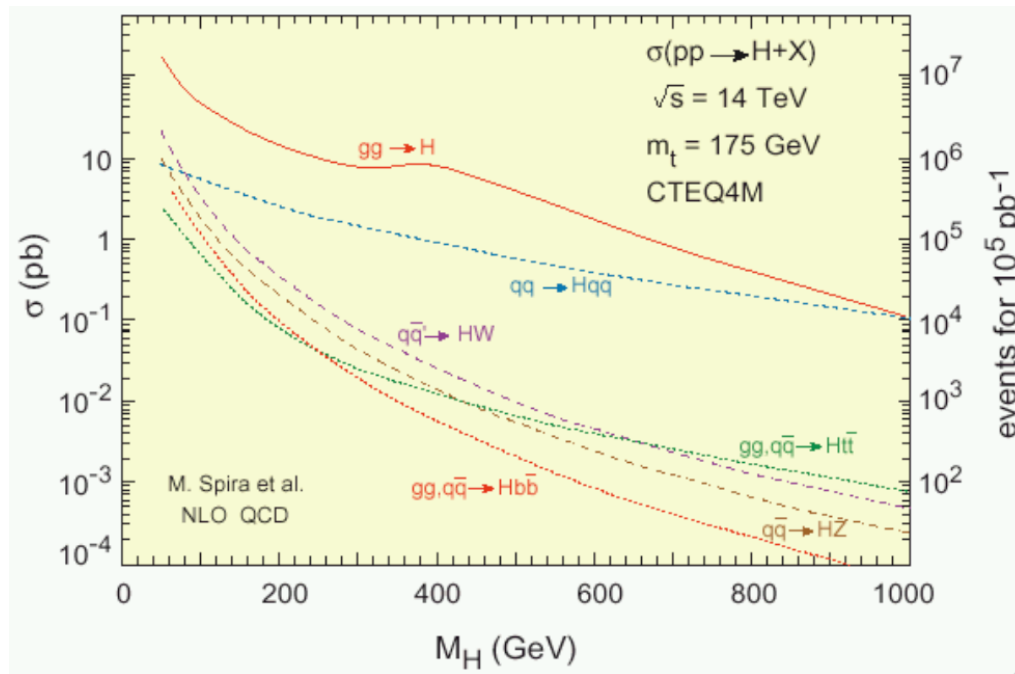
- 40 ans d'expériences sur le Modèle Standard
 - Découverte de particules prédites :
Bosons W et Z, gluons, quarks top et charme
 - Mais toujours pas de boson de Higgs...
- Limites du Modèle Standard
 - Masse des neutrinos, hiérarchie, gravitation...
- Les théoriciens pensent déjà à autre chose
 - Théorie des cordes, supersymétrie, ...
- Les expérimentateurs cherchent encore...
 - Un boson de Higgs « type » Modèle Standard
 - Ou autre chose...





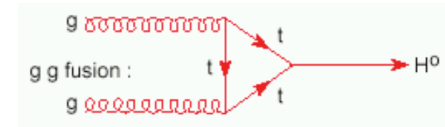
Le Boson de Higgs et le LHC

Production inclusive

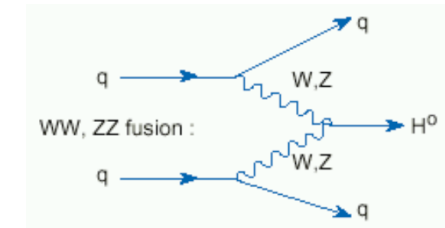


A. Djouadi

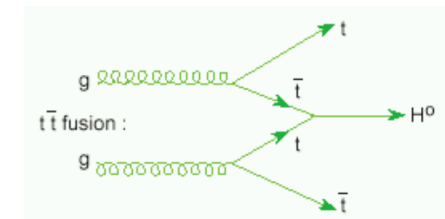
■ gg fusion



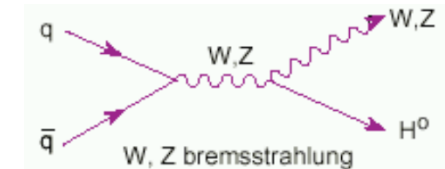
■ vector boson fusion



■ t-tbar fusion



■ associated production (W,Z)





Canaux de recherche dans CMS

A. Djouadi

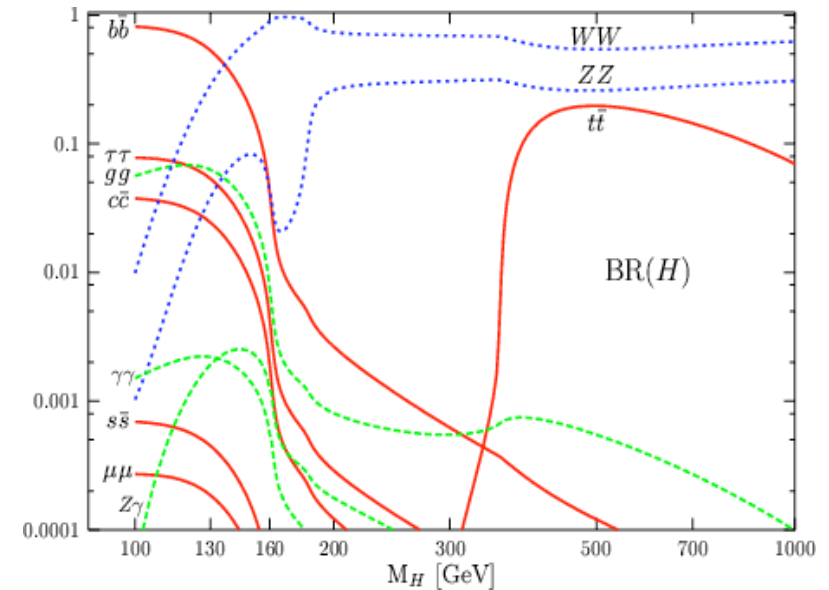
- Basse masse ($M_H \lesssim 150$ GeV)

- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow \tau\tau$

- Haute masse ($M_H \gtrsim 150$ GeV)
Diboson decays

- $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow \ell\nu\ell\nu$
- $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$

$\ell = e$ or μ





Canaux de recherche dans CMS

A. Djouadi

- Basse masse ($M_H \lesssim 150$ GeV)

- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow \tau\tau$

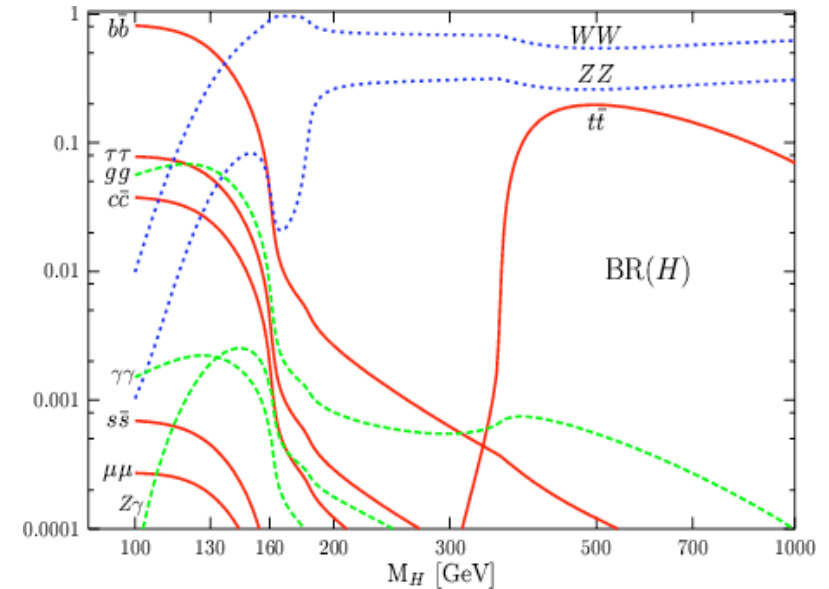
- Haute masse ($M_H \gtrsim 150$ GeV)
Diboson decays

- $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow \ell\nu\ell\nu$
- $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$

$\ell = e$ or μ

$e+e-e+e-, e+e-\mu+\mu-, \mu+\mu-e+e-, \mu+\mu-\mu+\mu-$

⇒ Détection de leptons isolés (électrons, muons)
Bons outils de déclenchement





Canaux de recherche dans CMS

A. Djouadi

- Basse masse ($M_H \lesssim 150 \text{ GeV}$)

- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow \tau\tau$

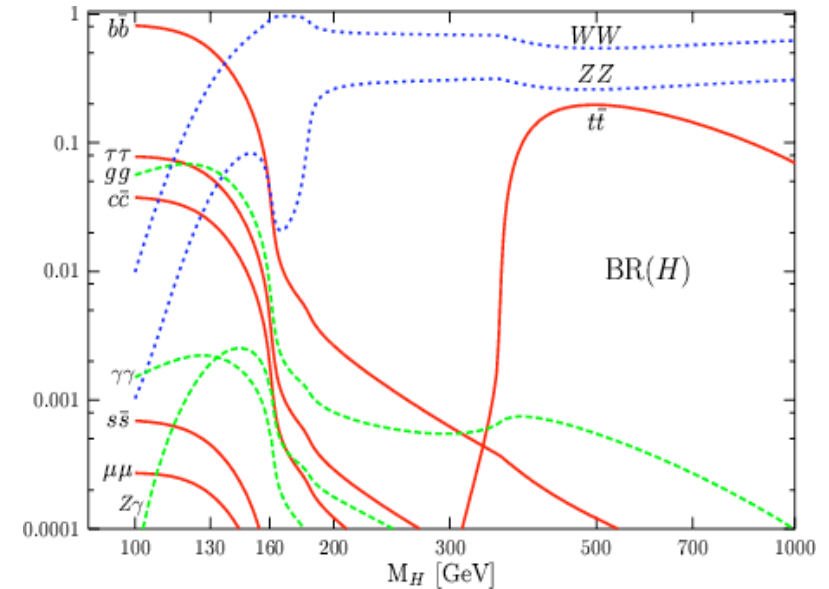
- Haute masse ($M_H \gtrsim 150 \text{ GeV}$)
Diboson decays

- $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow \ell\nu\ell\nu$
- $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$

$\ell = e \text{ or } \mu$

$e+e-e+e-, e+e-\mu+\mu-, \mu+\mu-e+e-, \mu+\mu-\mu+\mu-$

⇒ Détection de leptons isolés (**electrons**, muons)
Bons outils de déclenchement

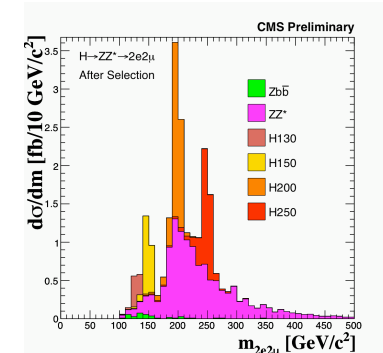




$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow \ell_1^+ \ell_2^- \ell_3^+ \ell_4^-$$

- Etat final : 2 paires de leptons (même saveur, charge opposée)
 - Quadrivecteurs aux points de production $(p_1, p_2) ; (p_3, p_4)$
 - Quadrivecteurs Z, Z^*
 - Quadrivecteur H

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ ($\ell=e$ or μ)
14 TeV, 1 fb^{-1}
Masse du Higgs ($M_{4\ell}$)



Décompte d'événements dans une fenêtre de masse « glissante »

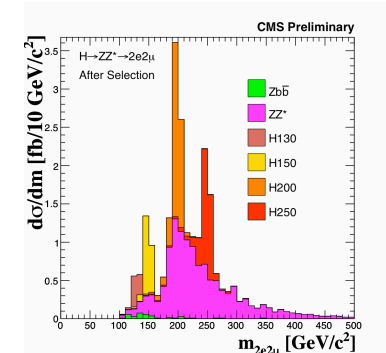
- Un canal très propre, une belle résonance



$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow \ell_1^+ \ell_2^- \ell_3^+ \ell_4^-$$

- Etat final : 2 paires de leptons (même saveur, charge opposée)
 - Quadrivecteurs aux points de production $(p_1, p_2) ; (p_3, p_4)$
 - Quadrivecteurs Z, Z^*
 - Quadrivecteur H

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ ($\ell=e$ or μ)
14 TeV, 1 fb^{-1}
Masse du Higgs ($M_{4\ell}$)



Décompte d'événements dans une fenêtre de masse « glissante »

- Un canal très propre, une belle résonance
- Mais très peu de signal et une quantité monstrueuse de bruit de fond
(notamment QCD : jets (π^0 , pions chargés, etc...) mal identifiés comme des leptons) :

$$S/B \sim 10^{-9}$$

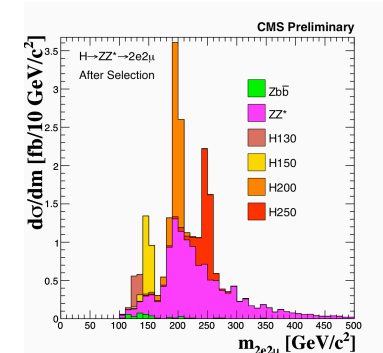
QCD, Z/W+jets, Z+jets, $t\bar{t}$, $Zb\bar{b}$, ZZ



$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow \ell_1^+ \ell_2^- \ell_3^+ \ell_4^-$$

- Etat final : 2 paires de leptons (même saveur, charge opposée)
 - Quadrivecteurs aux points de production $(p_1, p_2) ; (p_3, p_4)$
 - Quadrivecteurs Z, Z^*
 - Quadrivecteur H

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ ($\ell=e$ or μ)
14 TeV, 1 fb^{-1}
Masse du Higgs ($M_{4\ell}$)



Décompte d'événements dans une fenêtre de masse « glissante »

- Un canal très propre, une belle résonance
- Mais très peu de signal et une quantité monstrueuse de bruit de fond
(notamment QCD : jets (π^0 , pions chargés, etc...) mal identifiés comme des leptons) :

$$S/B \sim 10^{-9}$$

QCD, Z/W+jets, Z+jets, $t\bar{t}$, $Zb\bar{b}$, ZZ



$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$$

Rapport S/B critique :

Une analyse très précise est indispensable

- Très grande efficacité sur le signal (bas p_T^ℓ)
L'inefficacité sur les leptons compte à la **puissance 4**
(maximiser la couverture/acceptance du détecteur => utiliser les régions moins instrumentées)
- Bonne connaissance/maîtrise du bruit de fond non réductible :
prédiction du continuum $ZZ^{(*)}$ à partir des densités de partons
Pas assez de « side bands » au moment de la découverte
- Paramètres de sélection très précis
leptons : isolation, identification, charge, vertex ...
Canal utilisé pour désintriquer S_{CP}



L'analyse $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$

Skim: Trigger, au moins 3ℓ with $p_T > 10, 10, 5$

- Présélection (*QCD, Z/W+jets*)

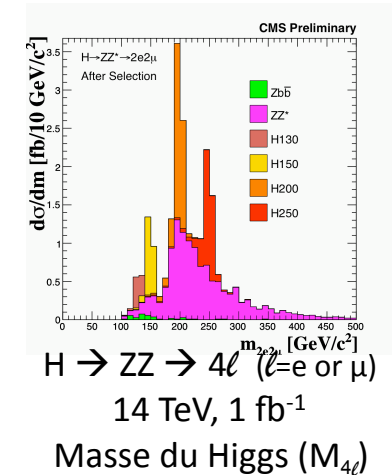
- *Au moins* 2 paires de leptons (même saveur, charge opposée)
- Coupures : leptons : p_T^ℓ , loose isolation & ID, $m_{\ell+\ell^-}$, $m_{4\ell}$
- Identification de la « paire Z » et de la « paire Z^* »

- Sélection (*Z+jets, $t\bar{t}$, $Zb\bar{b}$*)

- isolation, $p_T^{\ell \text{ lowest}}$, paramètre d'impact
- Restrictions sur les masses reconstruites « m_Z », « m_{Z^*} »

- Systématiques et contrôle à partir des données (*ZZ*)

- Mesures d'efficacité (reco-ID-iso) avec des événements Z
- Normalisation ZZ/Z
- Contrôle de l'isolation à partir de cônes aléatoires





L'analyse $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$

Skim: **Trigger** au moins 3 ℓ with $p_T > 10, 10, 5$ **Reconstruction (ℓ)**

- Présélection (*QCD, Z/W+jets*)

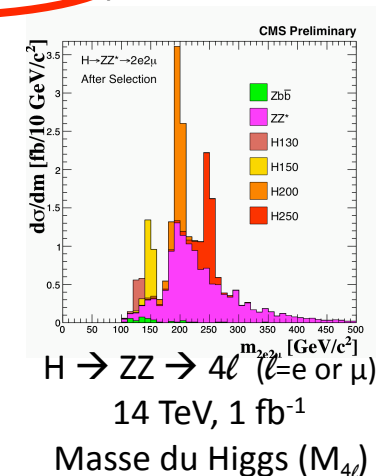
- *Au moins* 2 paires de leptons (même saveur, **charge opposée**)
- Coupures : leptons : p_T^ℓ , **loose isolation & ID**, $m_{\ell+\ell^-}$, $m_{4\ell}$
- Identification de la « paire Z » et de la « paire Z* »

- Sélection (*Z+jets, $t\bar{t}$, Zbb*)

- isolation, $p_T^{\ell \text{ lowest}}$, paramètre d'impact
- Restrictions sur les masses reconstruites « m_Z », « m_{Z^*} »

- Systématiques et contrôle à partir des données (*ZZ*)

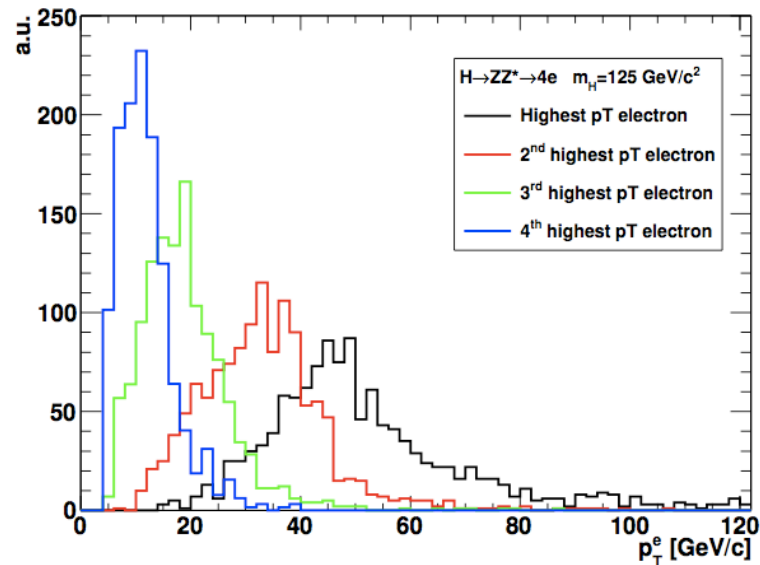
- Mesures d'efficacité (reco-ID-iso) avec des événements Z
- Normalisation ZZ/Z
- Contrôle de l'isolation à partir de cônes aléatoires



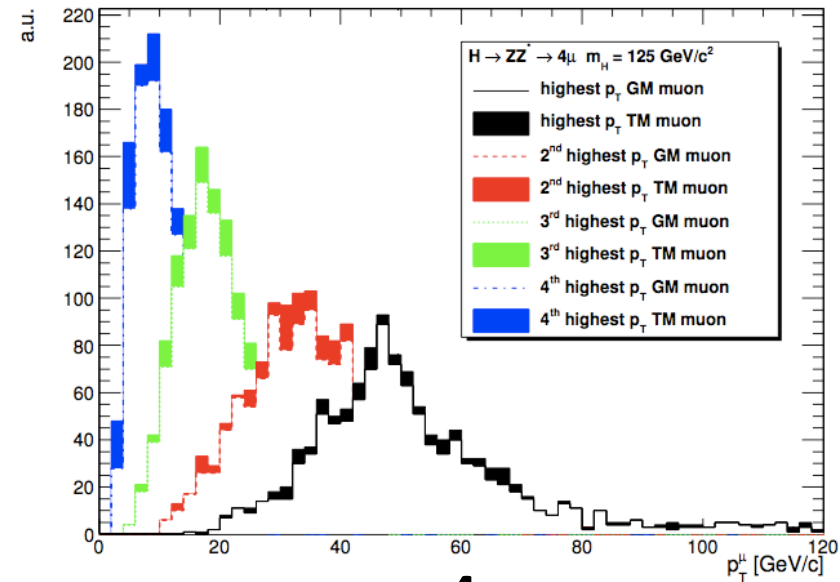


Efficacité : $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$

Distribution du p_T des leptons



4e



4 μ

Le plus haut p_T peut valoir jusqu'à 15-20 GeV.
Le plus bas p_T peut valoir 5 GeV ou moins.

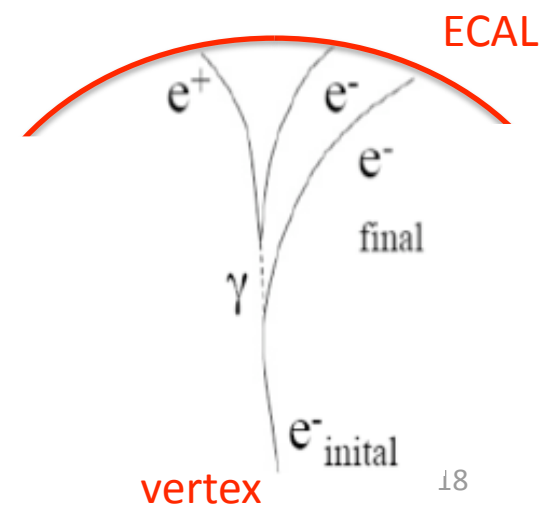
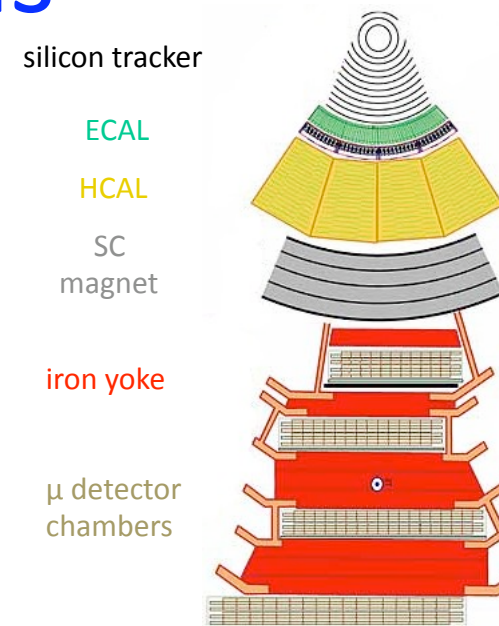
Besoin d'un déclenchement efficace à partir de 15-20 GeV.

La reconstruction et les coupures de sélection doivent être efficaces dès 5 GeV.



Electrons vs Muons

- Mesure et identification d'un muon :
 - 2 Traces (trajectomètre + chambres à muons) : pas de bruit de fond
 - Les muons n'interagissent pas dans le trajectographe ou les calorimètres => objets simples
- Un électron est plus complexe :
 - Trace (tracker) + Supercluster (ECAL) : beaucoup de bruits de fond
nécessité d'une réjection efficace des bruits de fond
 - Fort champ magnétique & beaucoup de matériel dans le => Photons de bremme, Conversions
=> objets complexes
plus difficiles à reconstruire





Les Premières Etapes

- Déclenchement
- Mesures des Electrons
- Premiers Candidats



Mesures sur les données



- Mesures sur les électrons :
 - Efficacité de déclenchement
 - Efficacité de reconstruction des électrons
 - Taux d'erreur dans la mesure de charge
 - Efficacité de l'identification et de l'isolation



Mesures sur les données



- Mesures sur les électrons :
 - Efficacité de déclenchement
 - Efficacité de reconstruction des électrons
 - Taux d'erreur dans la mesure de charge
 - Efficacité de l'identification et de l'isolation
- Des mesures très précises
 - L'inefficacité (l'erreur) est de l'ordre de quelques % (1-5%)
 - Cette mesure ne doit pas être biaisée par la présence de faux candidats
 - Nécessité d'une sélection très pure d'électrons



Méthode de “Tag & Probe”



Sélection d'événements $Z \rightarrow ee$ (très peu de bruit de fond)

- Sélection très sévère du “Tag”
- Coupures sur la masse invariante

⇒ Grande pureté

Peut regarder (presque) la population qui nous intéresse pour les “Probes”



Méthode de “Tag & Probe”



Sélection d'événements $Z \rightarrow ee$ (très peu de bruit de fond)

- Sélection très sévère du “Tag”
- Coupures sur la masse invariante

⇒ Grande pureté

Peut regarder (presque) la population qui nous intéresse pour les “Probes”

- Bonne statistique et bonne pureté à moyen p_T
($20 \text{ GeV} < p_T < 50 \text{ GeV}$)
- Difficultés à bas p_T
 - Le taux de bruit de fond peut être pris en compte (fit)
 - Mais la statistique manque quand même



Déclenchement



- Le système déclenche l'enregistrement des données
 - Si un signal suffisant a été détecté dans les calorimètres (ECAL / HCAL / Muons)



Déclenchement

- Le système déclenche l'enregistrement des données
 - Si un signal suffisant a été détecté dans les calorimètres (ECAL / HCAL / Muons)
- Une décision rapide et efficace, en deux étapes
 - Bunch Crossings: 40 MHz (pour une luminosité instantanée de $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
 - Déclenchement de Niveau 1 (L1): 100 kHz ($4 \mu\text{s}$)
 - Déclenchement de Haut Niveau (HLT): 100 Hz



Déclenchement

- Le système déclenche l'enregistrement des données
 - Si un signal suffisant a été détecté dans les calorimètres (ECAL / HCAL / Muons)
- Une décision rapide et efficace, en deux étapes
 - Bunch Crossings: 40 MHz (pour une luminosité instantanée de $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
 - Déclenchement de Niveau 1 (L1): 100 kHz ($4 \mu\text{s}$)
 - Déclenchement de Haut Niveau (HLT): 100 Hz
- Un choix précis et adaptable
 - La luminosité instantanée augmente => le facteur de réjection aussi !
 - Choix du seuil, des coupures
 - Masques
 - Il n'y a pas de seconde chance



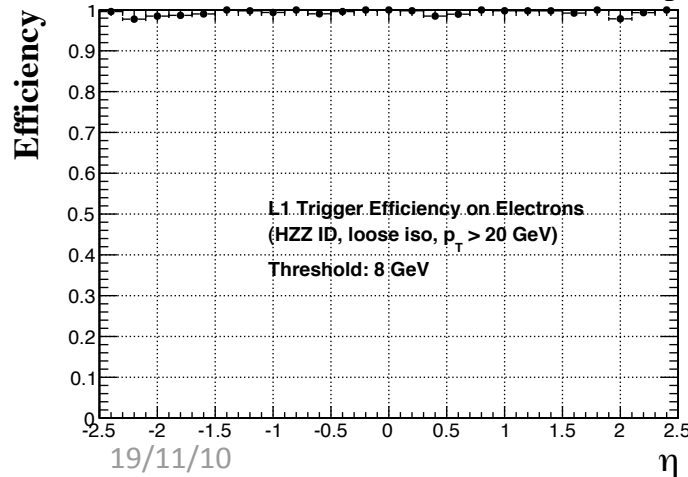
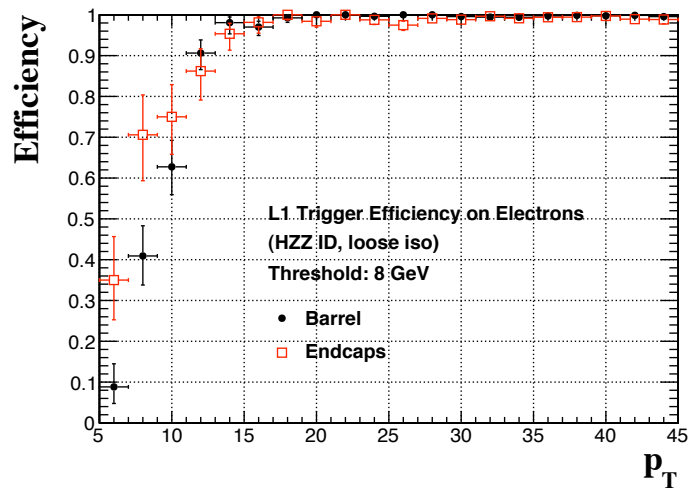
Déclenchement

- L1: candidats de taille fixe (2 Tours de Trigger)
 - E_T et position peu précises
- HLT: S'il y avait au moins un candidat L1 au-dessus du seuil, recherche des électrons/muons
 - Plus proches des objets offline
 - On peut ajouter des conditions d'ID/isolation
- Conditions de déclenchement « simple » ou « double »
 - 1 candidat ($E_T >$ seuil simple) OU 2 candidats ($E_{T1}, E_{T2} >$ seuil double)



Efficacité de Déclenchement

Sur des électrons de type « HZZ »



Déclenchement simple de niveau 1
(seuil à 8 GeV) :

- Une très bonne efficacité pour des électrons de $p_T > 20$ GeV
- Une optimisation de la simulation est en cours

	L1_SingleEG8 ($p_T > 20$ GeV)	
All	99.45%	0.07% -0.07%
Barrel	99.63%	0.07% -0.07%
Endcaps	99.03%	0.17% -0.16%

Etudes en cours pour le déclenchement de haut niveau

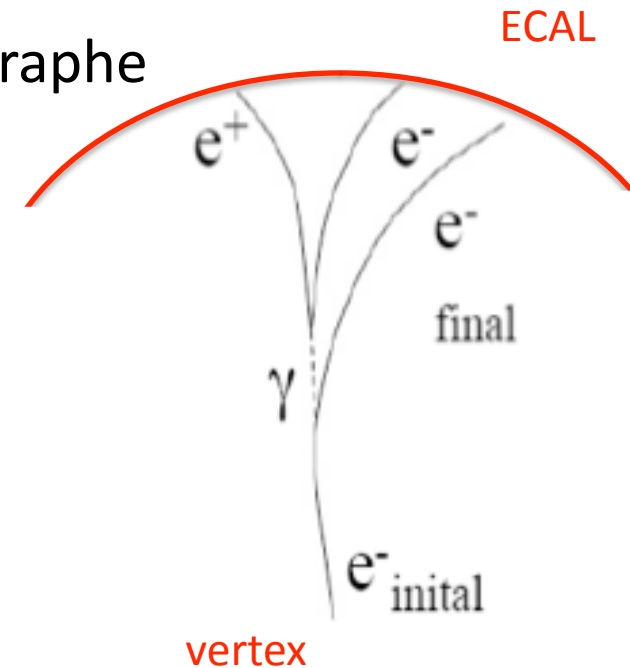


Reconstruction des Electrons

Reconstruction à partir du calorimètre

- Amas d'énergie (supercluster) dans ECAL
- « Seed », puis trace dans le trajectographe

(Trajectographe: $|\eta| < 2.5$, ECAL: $|\eta| < 3$)





Reconstruction des Electrons

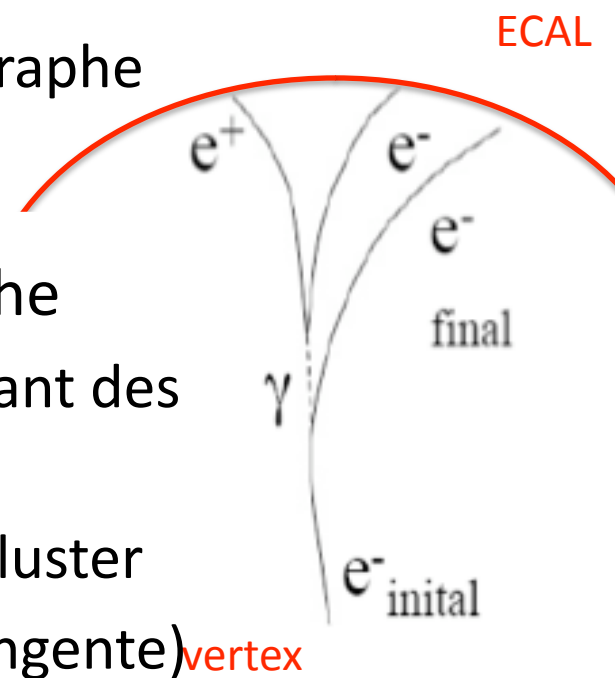
Reconstruction à partir du calorimètre

- Amas d'énergie (supercluster) dans ECAL
- « Seed », puis trace dans le trajectographe

(Trajectographe: $|\eta| < 2.5$, ECAL: $|\eta| < 3$)

Reconstruction à partir du trajectographe

- Construction d'une trace en permettant des pertes d'énergie (Bremm. γ)
- Création, étape par étape, du Supercluster (dépôts d'énergie dans la direction tangente)





Reconstruction des Electrons

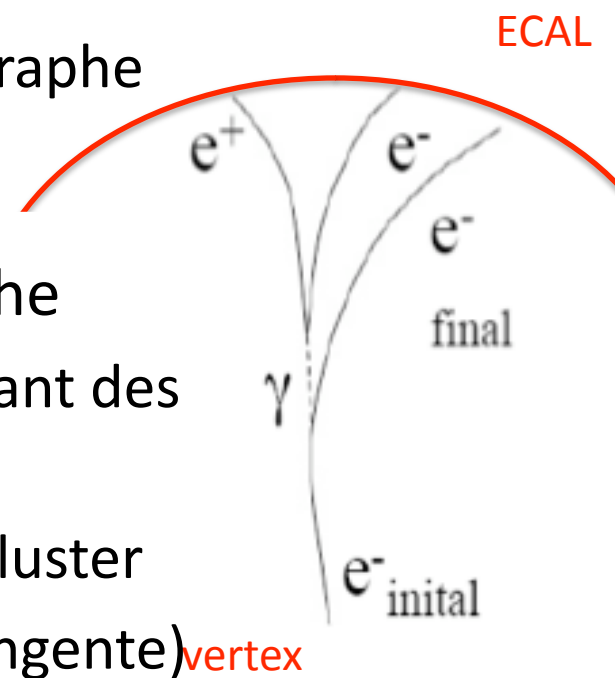
Reconstruction à partir du calorimètre

- Amas d'énergie (supercluster) dans ECAL
- « Seed », puis trace dans le trajectographe

(Trajectographe: $|\eta| < 2.5$, ECAL: $|\eta| < 3$)

Reconstruction à partir du trajectographe

- Construction d'une trace en permettant des pertes d'énergie (Bremm. γ)
- Création, étape par étape, du Supercluster (dépôts d'énergie dans la direction tangente)



Gain d'efficacité:

Surtout pour $p_T < 10$ GeV
Et dans les régions de « crack » du ECAL

Efficacité globale (MC):

> 95% pour $p_T > 10$ GeV



Reconstruction des Electrons

Reconstruction à partir du calorimètre

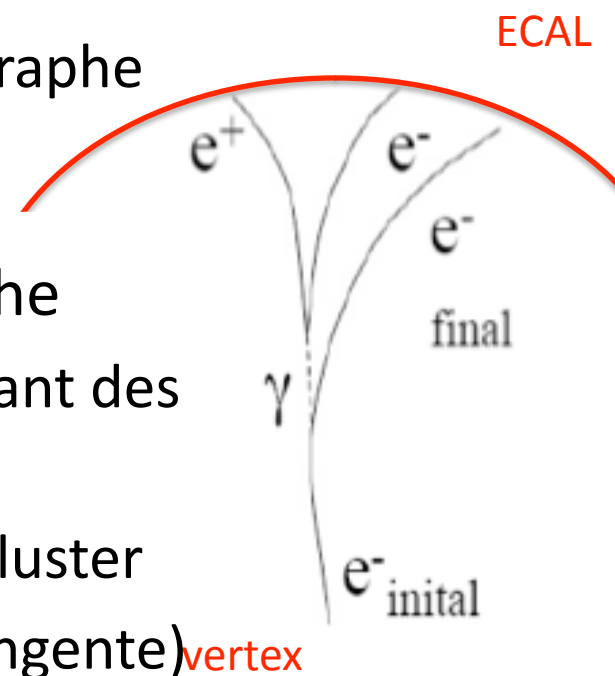
- Amas d'énergie (supercluster) dans ECAL
- « Seed », puis trace dans le trajectographe

(Trajectographe: $|\eta| < 2.5$, ECAL: $|\eta| < 3$)

Reconstruction à partir du trajectographe

- Construction d'une trace en permettant des pertes d'énergie (Bremm. γ)
- Création, étape par étape, du Supercluster (dépôts d'énergie dans la direction tangente)

Mesure de p_T :
combinaison trace-SC



Gain d'efficacité:

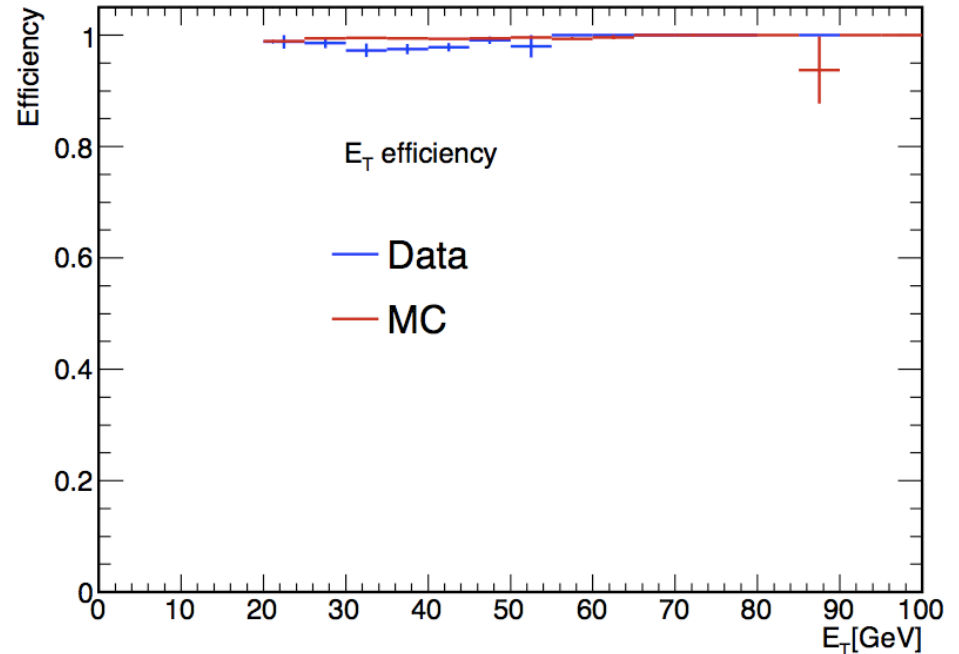
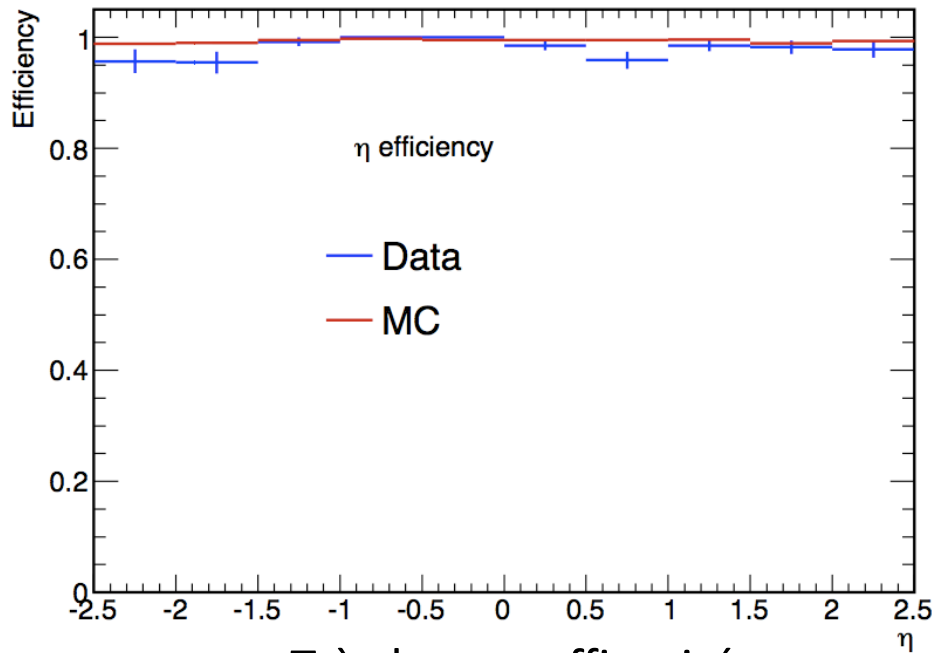
Surtout pour $p_T < 10$ GeV
Et dans les régions de « crack » du ECAL

Efficacité globale (MC):
> 95% pour $p_T > 10$ GeV



Efficacité de Reconstruction

- Tag & Probe
 - Sélection très sévère sur le Tag (électron)
 - Probe : supercluster



- Très bonne efficacité
- Bon accord données/simulation
- Mais on ne regarde ici que les cas $p_T > 20$ GeV

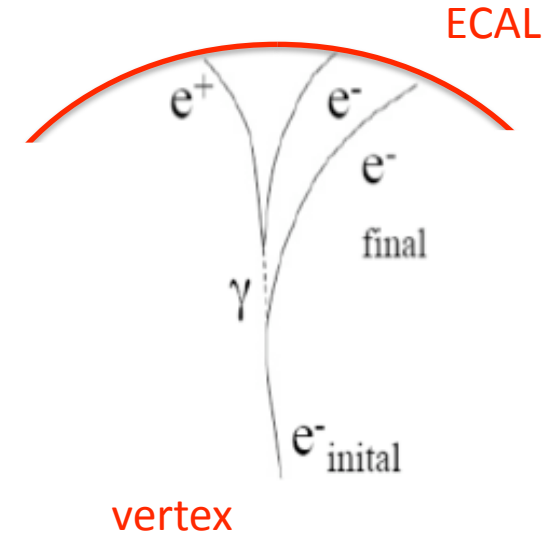
Données = $98.42\% \pm 0.42\%$

Simulation = $99.37\% \pm 0.03\%$



Mesure de Charge

- 3 mesures différentes de la charge d'un électron :
 - la courbure de sa trace Gsf,
 - la courbure de sa trace Kf (Kalman Filter),
 - $\Delta\phi$ (beamspot-1er hit, beamspot-SC)
- La charge sera la valeur sur laquelle s'accordent (au moins) deux de ces trois mesures.



Cas critiques :



A grand p_T : trajectoire moins courbée



Dans les bouchons : plus de matériel traversé
=> plus d'interactions



Mesure de Charge

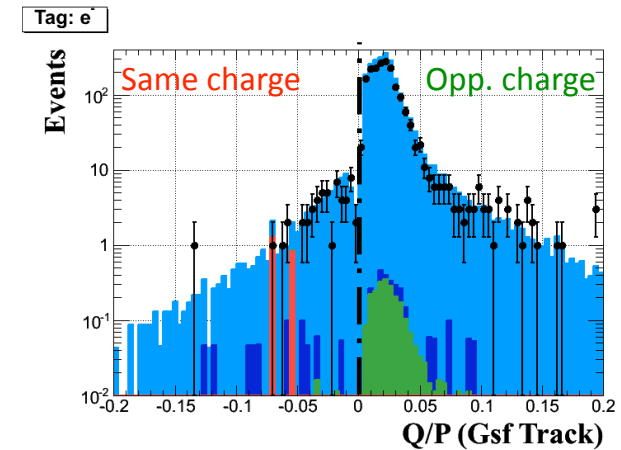
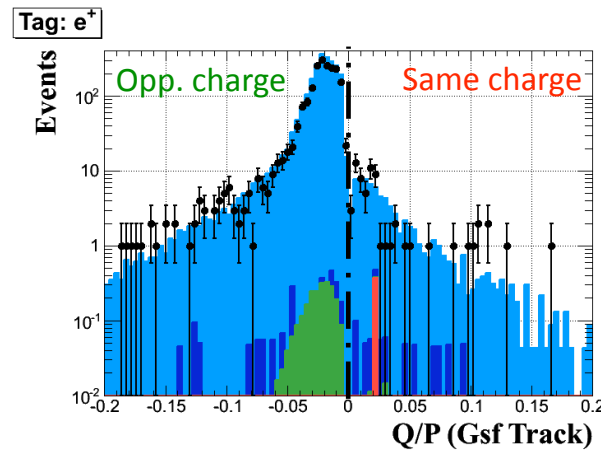
- Distribution des variables de charge

Tag & Probe
(bruits de fond : ~ 0.1 %)

Sélection très sévère sur le Tag pour garantir une très bonne charge ID

$p_T > 20$ GeV

Z+jets
W+jets
Photon+jets
Ttbar
QCD





Mesure de Charge

Tag & Probe

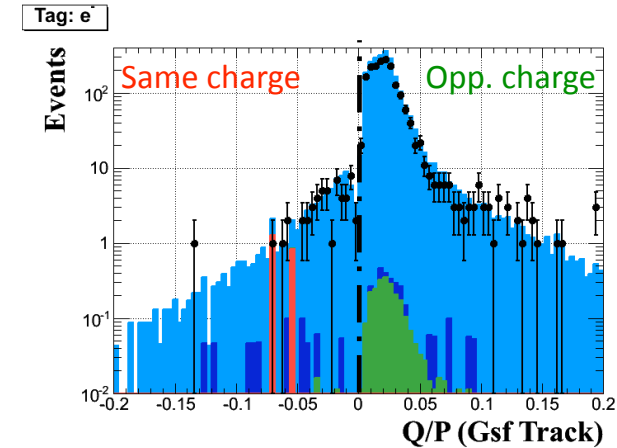
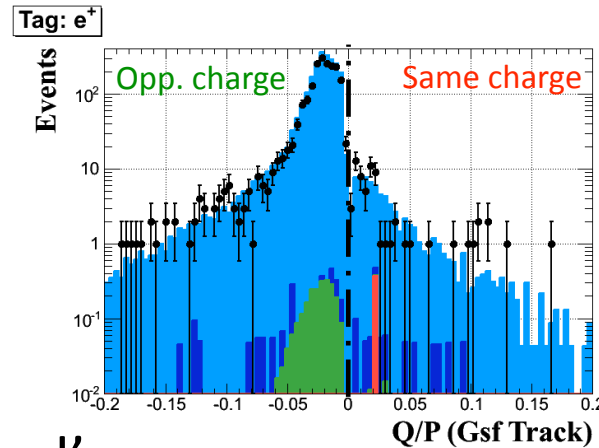
(bruits de fond : ~ 0.1 %)

- Distribution des variables de charge

Sélection très sévère sur le Tag pour garantir une très bonne charge ID

$p_T > 20$ GeV

- Z+jets
- W+jets
- Photon+jets
- Ttbar
- QCD



- Mesure du taux d'erreur

(taux d'erreur sur le Tag mesuré préalablement et pris en compte)

Probe WP95	Charge mis-ID			
	Data measurement		MC-truth value	
EE-	4.24%	1.00% -0.92%	3.37%	0.14% -0.14%
EB-	0.48%	0.38% -0.35%	0.55%	0.04% -0.04%
EB+	0.44%	0.37% -0.34%	0.47%	0.04% -0.03%
EE+	3.12%	0.93% -0.84%	3.35%	0.14% -0.14%

- Charge mis-ID <1% dans le tonneau
- **Bon accord données/simulation.**



Identification et isolation

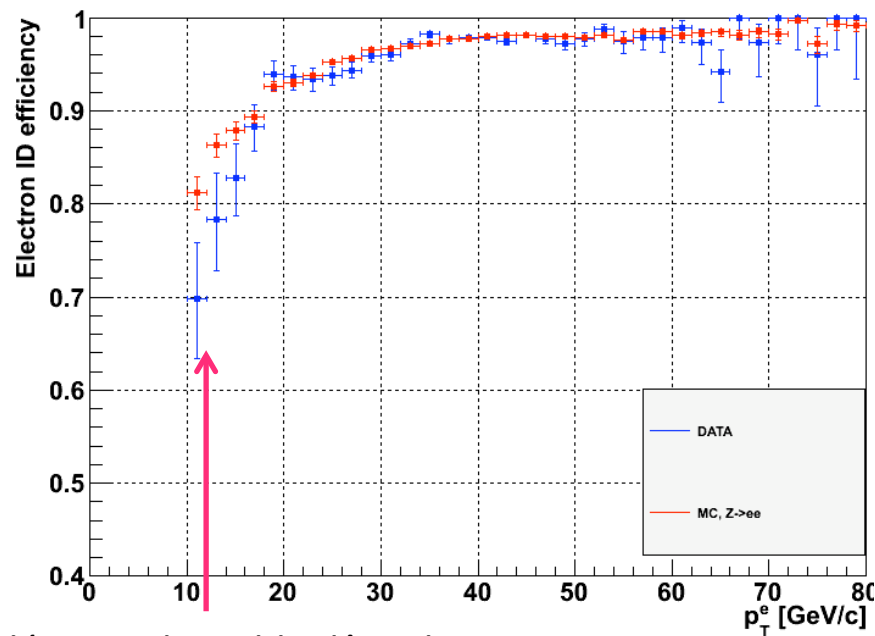


- Outils de réjection de jets
- Identification :
 - Forme du SC (pas trop dispersé)
 - Accord trace-SC (en direction)
 - Faible dépôt d'énergie dans le HCAL : H/E
- Isolation
 - Peu d'activité autour de l'électron (trajectographe / ECAL / HCAL)
- Sélections dédiées à l'analyse HZZ
 - Efficacité à bas p_T
 - Efficacité hors du domaine fiduciel
 - Testées et éventuellement améliorées avec les données

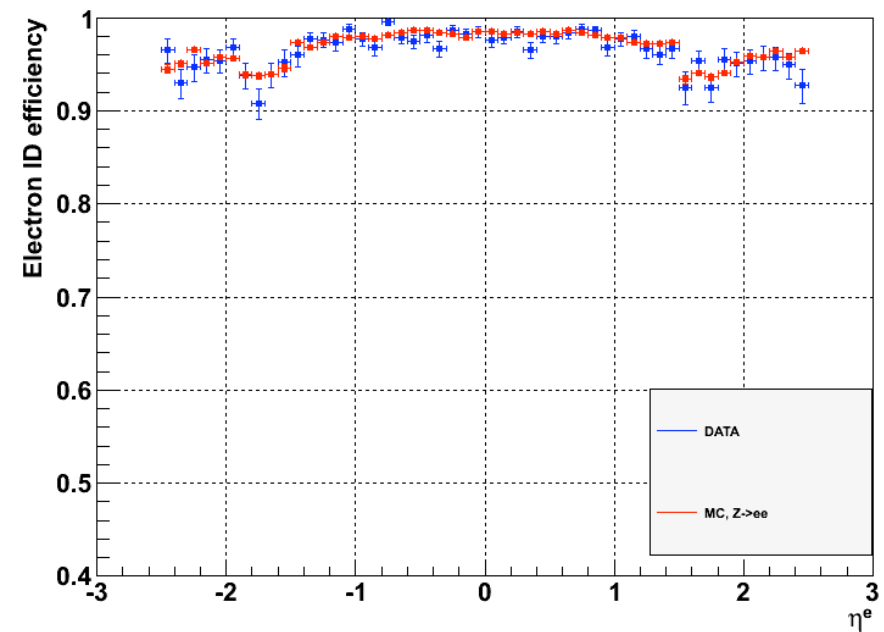


Identification et isolation

- Tag & Probe (bruits de fond : $\sim 0.1\%$)
 - Sélection très sévère sur le Tag
 - Probe : électron isolé



Ce désaccord semble dû au bruit de fond restant. Etude en cours.



- **Bon accord données / simulation**
- **Efficacité Globale : $\sim 97\%$**



Candidats (4ℓ)



Candidats (4 ℓ)

Avec 35 pb⁻¹ de données :

- Pour chaque canal (4e, 2e2mu, 4mu), quelques événements passent la présélection
- Un seul événement passe l'ensemble de la sélection :
un événement 4mu

$$M_{4\ell} = 201 \text{ GeV}$$

$$M_Z = 92.15, M_{Z^*} = 92.24$$

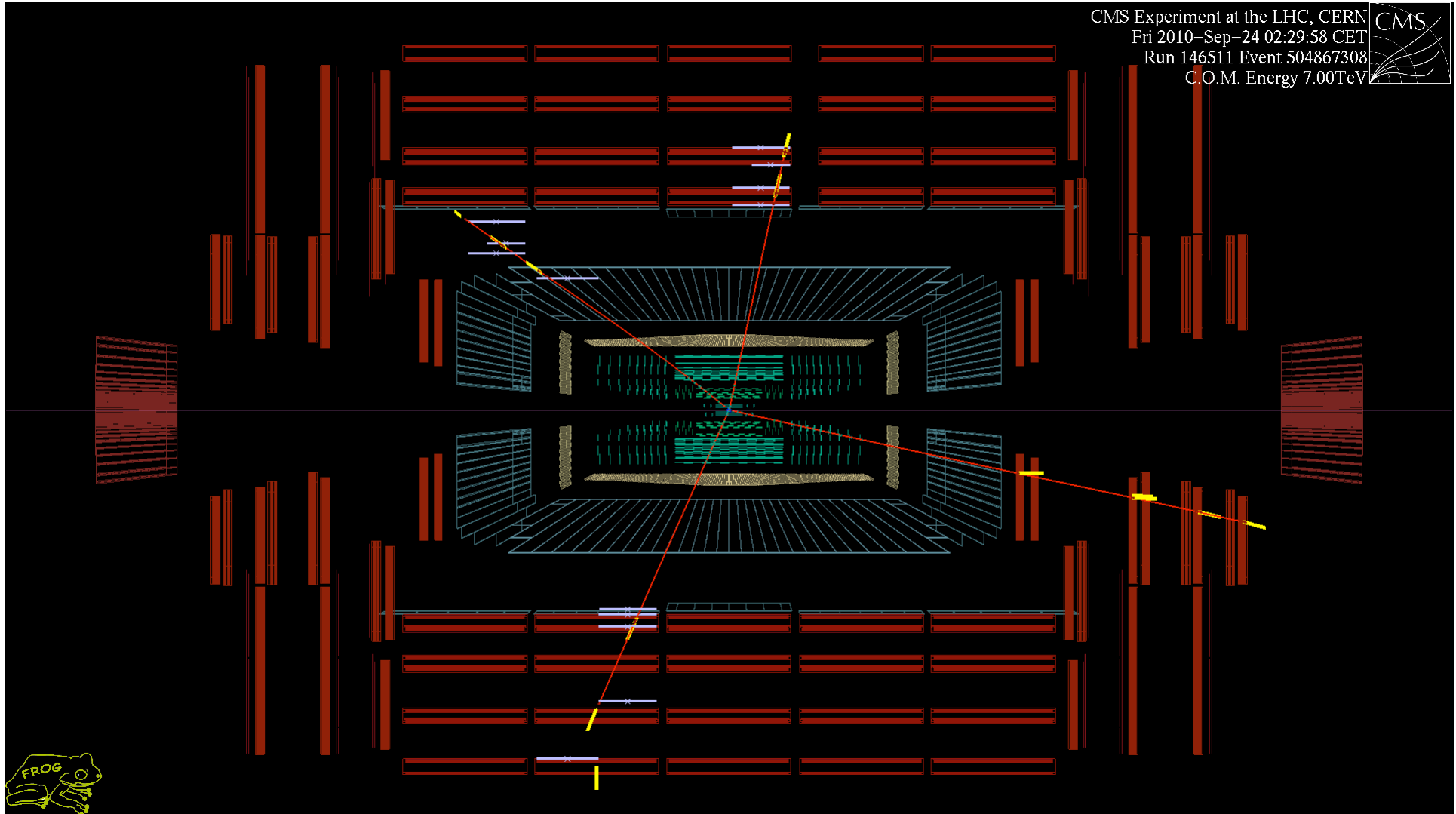
$$(\varphi: -3.03 ; 0.06)$$

La probabilité d'observer un événement ZZ --> 4 leptons (eeee, eeμμ, μμμμ) avec 35 pb⁻¹ de données est de 28 %.



Le candidat 4mu

CMS Experiment at the LHC, CERN
Fri 2010-Sep-24 02:29:58 CET
Run 146511 Event 504867308
C.O.M. Energy 7.00TeV





Et si on cherche un peu plus loin...

Au-delà du Modèle Standard
Un mécanisme de « Seesaw »
(masses des neutrinos)



Higgs Triplet Model

Modèle Standard

$$l_{aiL} = \begin{pmatrix} \nu_a \\ l_a^- \end{pmatrix}_L \sim (\underline{2}, -\frac{1}{2}),$$

$$l_{aR}^- \sim (\underline{1}, -1),$$

$$\phi_i = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \sim (\underline{2}, \frac{1}{2}),$$



Higgs Triplet Model

Modèle Standard

$$l_{aiL} = \begin{pmatrix} \nu_a \\ l_a^- \end{pmatrix}_L \sim (\underline{2}, -\frac{1}{2}),$$

$$l_{aR}^- \sim (\underline{1}, -1),$$

$$\phi_i = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \sim (\underline{2}, \frac{1}{2}),$$

Masse des leptons

$$\bar{l}_R l_{iL} \phi_i + \text{H.c.}$$

$$\langle \phi_i \rangle_0 = \frac{v_1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$



Higgs Triplet Model

Modèle Standard

$$l_{aiL} = \begin{pmatrix} \nu_a \\ l_a^- \end{pmatrix}_L \sim (\underline{2}, -\frac{1}{2}),$$

$$l_{aR}^- \sim (\underline{1}, -1),$$

$$\phi_i = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \sim (\underline{2}, \frac{1}{2}),$$

Masse des leptons

$$\bar{l}_R l_{iL} \phi_i + \text{H.c.}$$

$$\langle \phi_i \rangle_0 = \frac{v_1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Modèle HTM

$$\vec{\tau} \cdot \vec{H} = \begin{pmatrix} H^+ & \sqrt{2} H^{++} \\ \sqrt{2} H^0 & -H^+ \end{pmatrix},$$



Higgs Triplet Model

Modèle Standard

$$l_{aiL} = \begin{pmatrix} \nu_a \\ l_a^- \end{pmatrix}_L \sim (\underline{2}, -\frac{1}{2}),$$

$$l_{aR}^- \sim (\underline{1}, -1),$$

$$\phi_i = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \sim (\underline{2}, \frac{1}{2}),$$

Masse des leptons

$$\bar{l}_R l_{iL} \phi_i + \text{H.c.}$$

$$\langle \phi_i \rangle_0 = \frac{v_1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Modèle HTM

$$\vec{\tau} \cdot \vec{H} = \begin{pmatrix} H^+ & \sqrt{2} H^{++} \\ \sqrt{2} H^0 & -H^+ \end{pmatrix},$$

Masse des neutrinos

$$\mathcal{L}'_Y = f_{ab} \bar{l}_{aiL}^C l_{bjL} \vec{H} (\epsilon \vec{\tau})_{ij} + \text{H.c.},$$

$$\langle \vec{\tau} \cdot \vec{H} \rangle_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ v_2 & 0 \end{pmatrix},$$

$$A_{ab} = v_2 f_{ab} = A_{ba}.$$



Higgs Triplet Model

Addition d'un triplet de Higgs:

$$\vec{\tau} \cdot \vec{H} = \begin{pmatrix} H^+ & \sqrt{2} H^{++} \\ \sqrt{2} H^0 & -H^+ \end{pmatrix},$$

Nouvelles particules : H^{++} (H^{--}) ; H^+ (H^-) ; H^0

Un signal intéressant en particulier : $H^{++} H^{--} \rightarrow \ell^+ \ell^+ \ell'^- \ell'^-$

⇒ Recherche de 2 paires de leptons de même saveur, même charge

⇒ Très peu de bruit de fond attendu

⇒ Aucun événement intéressant pour l'instant



Conclusion



Conclusion

- Une analyse fine pour mettre en évidence un signal propre, malgré un bruit de fond important
 - Une étude détaillée des coupures sur les données
 - Des résultats encourageants
 - Un travail à continuer
- De premiers candidats très intéressants
 - Expérimentateurs : à vos jumelles !
 - Théoriciens : les paris sont faits...



Back-up



Matériel Traversé

