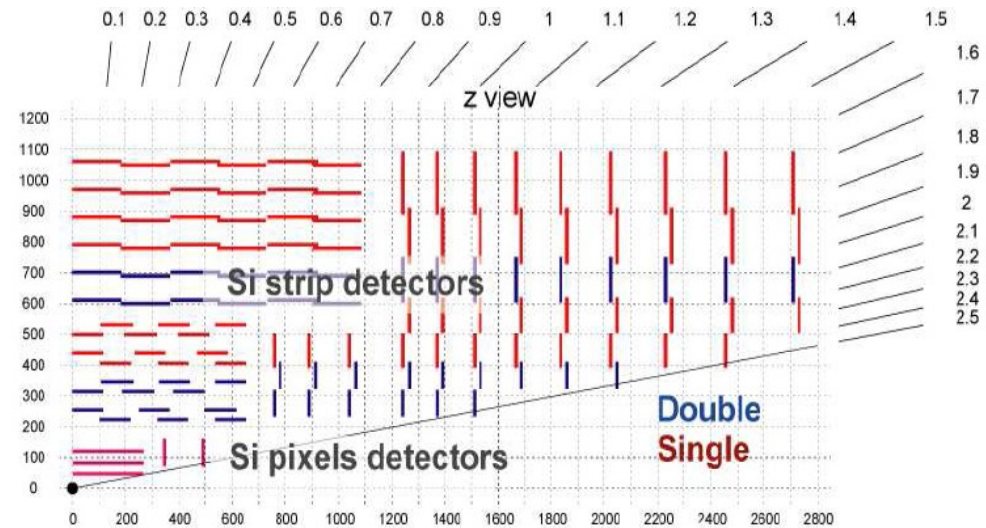
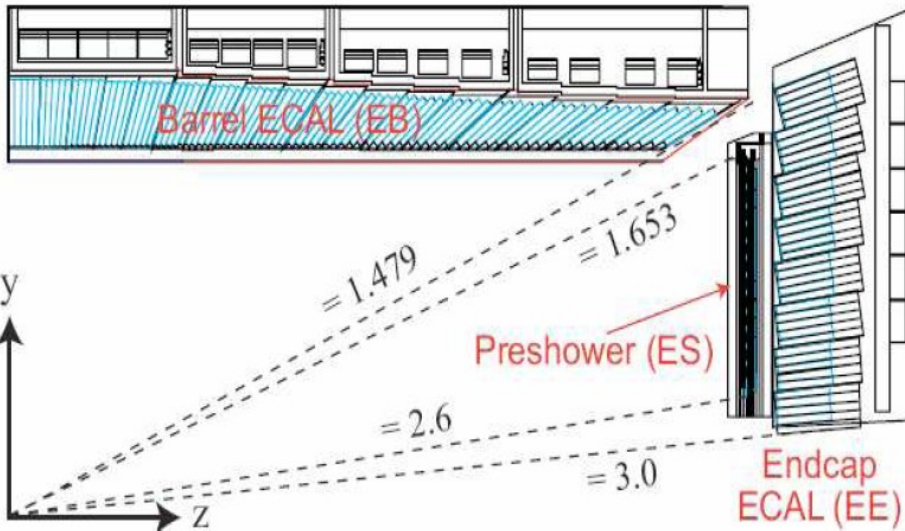
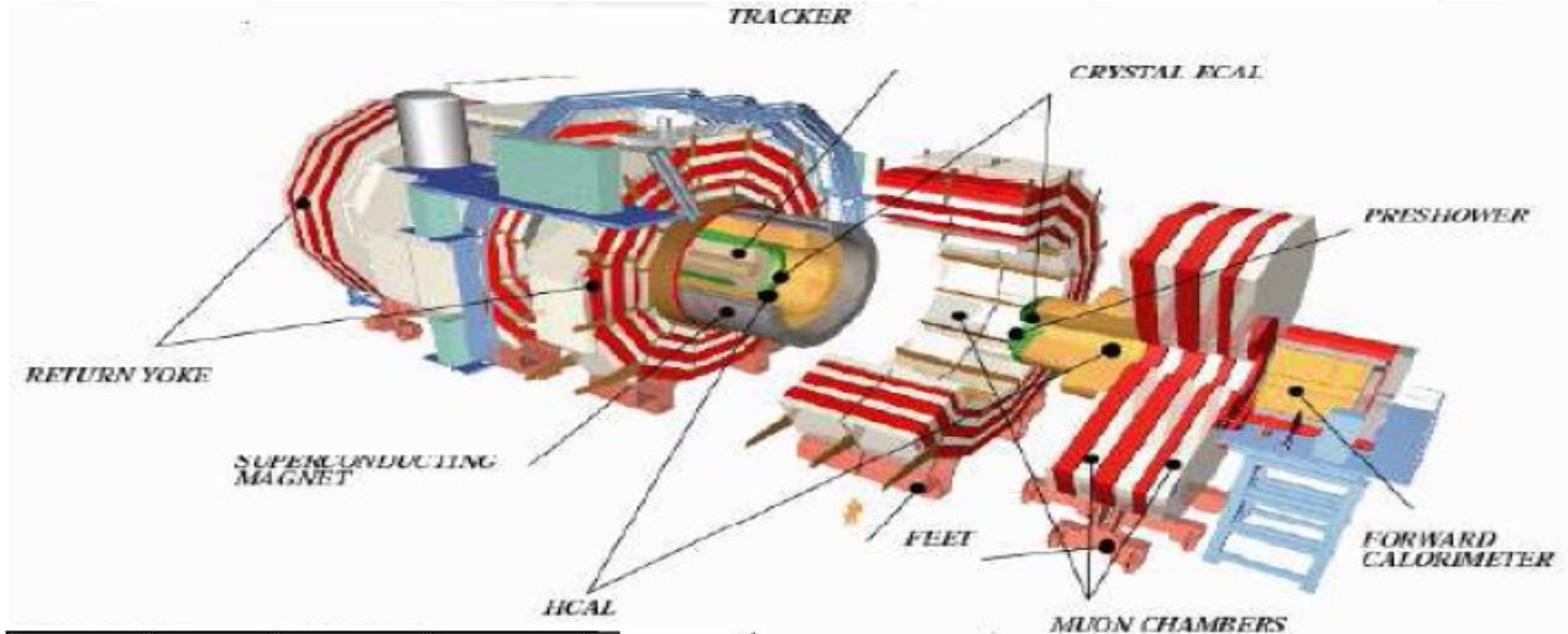




# Recherche de resonances massives au LHC avec le detecteur CMS

**Otman Charaf (groupe “High Energy Electron Pairs”)**

**Institut Interuniversitaire des Hautes Energies  
Universite Libre de Bruxelles**



---> Le Modele Standard décrit les particules et leurs interactions mais certains problèmes non résolus.

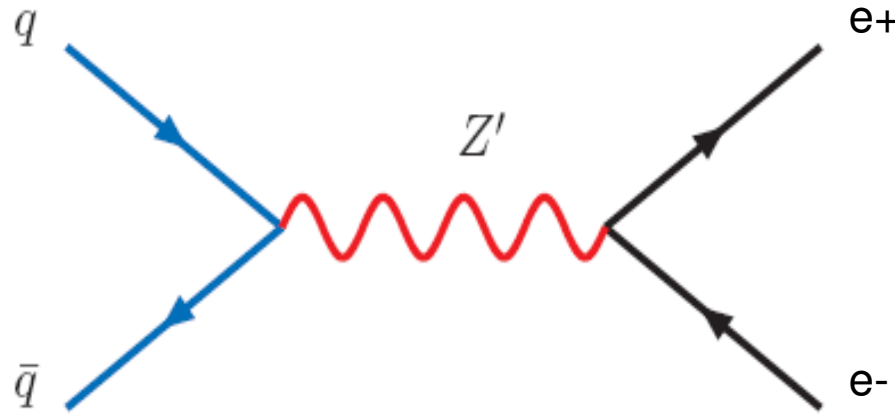
**Probleme de la hierarchie de masse** : Différence de seize ordres de grandeur entre l'échelle de Planck ( $10^{19}$  GeV, effets quantiques gravitationnels) et échelle de brisure électrofaible ( $10^3$  GeV).

---> Théories au delà du Modele Standard nécessaires (BSM)

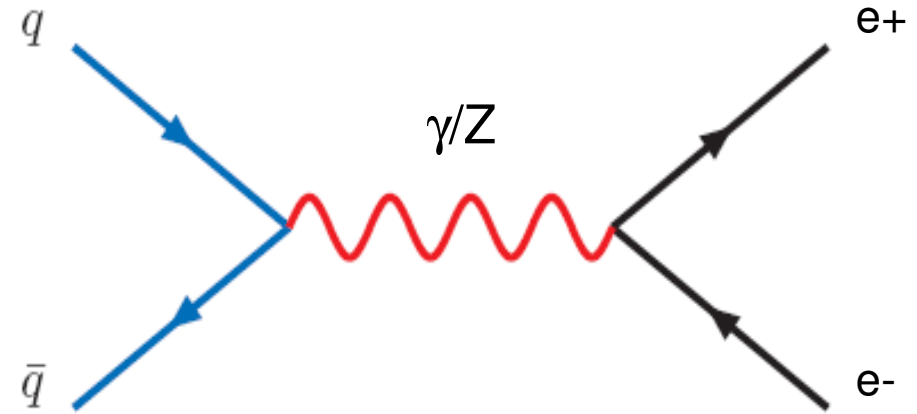
---> Scenario “Extra-Dimensions” (ED) tente de résoudre le problème par l'ajout d'une ou plusieurs dimensions spatiales. Prediction de resonances massives (excitations de Kaluza-Klein (KK) ) telles que le  $Z'$ .

---> Théorie de la Grande Unification (modèles GUT) prédit aussi bosons neutres massifs.

---> Etude du  $Z'$  SSM (Sequential Standard Model) ici. Couplages identiques à ceux du  $Z$  mais masse plus élevée.



**Signal Z' SSM**



**Bruit de fond Drell-Yan (irréductible)**

Model mass ( $\text{GeV}/c^2$ )	$M = 1000$	$M = 1500$	$M = 2000$	$M = 2500$
SSM $Z'$				
$\sigma \cdot \text{BR}$ (fb)	458	80	20	5.8
nb. ev. for $100 \text{ pb}^{-1}$ and 2 el. with $ \eta  < 2.5$	38	7.0	1.8	0.54
DY bg. ( $\text{GeV}/c^2$ )	$M > 600$	$M > 1100$	$M > 1600$	$M > 2100$
cross section (fb)	50	4.4	0.76	0.18
nb. ev. for $100 \text{ pb}^{-1}$ and 2 el. with $ \eta  < 2.5$	4.0	0.4	0.07	0.02

**Selection très efficace (grande efficacité signal et grand pouvoir de rejection pour le bruit de fond).**

**Triggers** : Objet E/m doit passer un des trois triggers : “relaxed single electron trigger”, “high Et trigger” et “very high Et trigger” (non decrits).

**Identification Electron** : Electron reconstruit doit passer plusieurs coupures.

---> Difference barrel-endcap dans le tracker et ECAL donc criteres differents dans ces deux zones.

Variable	Barrel	Endcap
$E_t$	$> 30 \text{ GeV}$	$> 30 \text{ GeV}$
$\eta_{SC}$	$ \eta_{SC}  < 1.442$	$1.560 <  \eta_{SC}  < 2.5$
classification	$< 40$	$\geq 100$
$\Delta\eta_{in}$	$ \Delta\eta_{in}  < 0.005$	$ \Delta\eta_{in}  < 0.007$
$\Delta\phi_{in}$	$ \Delta\phi_{in}  < 0.09$	$ \Delta\phi_{in}  < 0.09$
$H/E$	$< 0.05$	$< 0.1$
$\sigma_{\eta\eta}$	$< 0.011$	$< 0.0275$
EM + Had. depth 1 Isol.	$< 5 \text{ GeV}$ for $E_t < 65 \text{ GeV}$ else $< 5 \text{ GeV} + 0.02 * (E_t - 65)$	$< 4 \text{ GeV}$ for $E_t < 65 \text{ GeV}$ else $< 4 \text{ GeV} + 0.04 * (E_t - 65)$
Had. depth 2 Isol.	n/a	$< 1 \text{ GeV} + 0.005 * E_t [\text{GeV}]$
Tracker Isol.: Trk Pt	$< 7.5 \text{ GeV}$	$< 15 \text{ GeV}$
Duplicate cleaning	$E/p$ closest to 1	$E/p$ closest to 1

$$\sigma_{\eta\eta} = \frac{\sum_i^{5 \times 5} w_i (\eta_i - \bar{\eta}_{5 \times 5})}{\sum_i^{5 \times 5} w_i}$$

## Coupures HEEP

**Selection** : Coupures d'isolation tres importantes. Outils puissants pour optimiser la selection et reduire le bruit de fond QCD (grand sigma) (jets generalement non isoles).

**Mais** : Bruit de fond persistant.

---> Jets miment electrons

---> Vrais electrons isoles (ttbar essentiellement)

**Besoin de methodes pour estimer le bruit de fond.**

**Bruits de fond** : sources dominantes  $t\bar{t}$  (deux electrons reels) et QCD,  $W$  +jet,  $\gamma$ +jet et  $\gamma\gamma$  (au moins un jet mimique un electron).

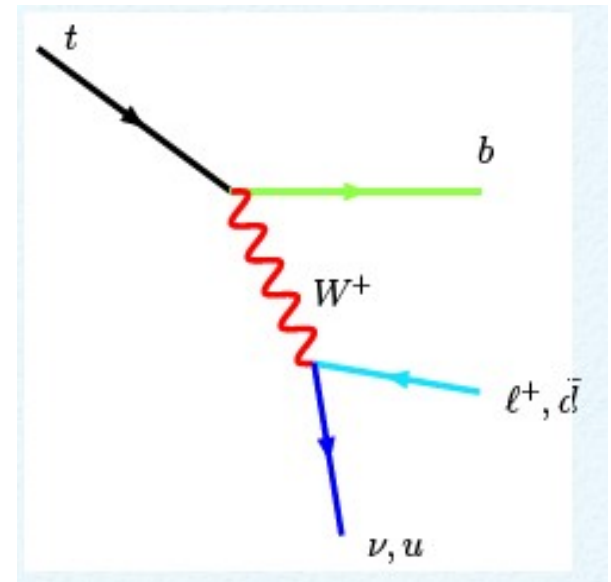
**Ttbar** : methode  $e\mu$ .

---> Rapport de branchement  $t \rightarrow bW$  proche de 100%. Donc #evts  $W \rightarrow e\mu$  est egal a deux fois #evts  $W \rightarrow ee$ .

---> Besoin de corriger les differences d'acceptance et efficacites de selection.

---> Prendre en compte contamination  $W$ +jet.

$$\begin{aligned}
 N_{ee}^{est} &= \frac{N_{t\bar{t} \rightarrow ee}}{N_{t\bar{t} \rightarrow e\mu}} \cdot \left[ \frac{1}{1 + \frac{N_{Wj \rightarrow e\mu}}{N_{t\bar{t} \rightarrow e\mu}}} \right] \cdot N_{e\mu}^{obs} \\
 &= \frac{A}{2} \cdot N_{e\mu}^{obs} \cdot \frac{1}{1 + R'}
 \end{aligned}$$



**A** est determine a partir du MC.

## **Jet : Methode “fake rate”.**

---> **Determiner la probabilité pour un jet de mimer un electron (par bin en Et et barrel/endcap) et correction en energie (algorithmes de reconstruction differents pour jet et pour electron).**

---> **Construire un echantillon de jets avec :**

- **Un objet qui passe selection HEEP complete**
- **aucun autre objet qui passe les coupures electron (Z->ee).**
- **L'objet qui passe la selection HEEP doit etre “back to back” avec un autre jet dans l'evenement ( $|\Delta\phi| < 30^\circ$ ), (W->ev).**

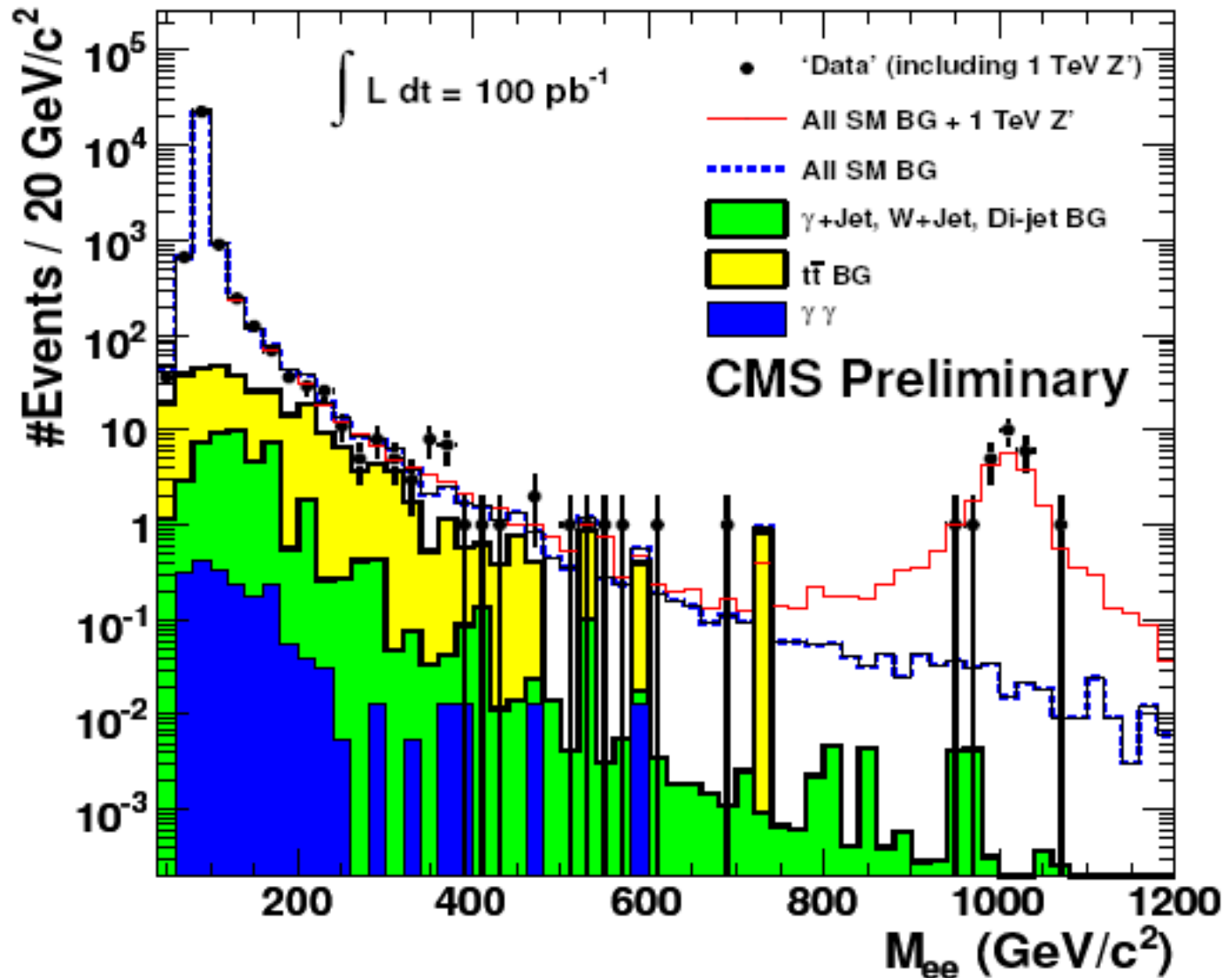
---> **Diviser le spectre en Et mesure des jets mimant les electrons par le spectre Et de tous les jets.**

**Pour determiner le bruit de fond jet, on construit un echantillon avec :**

- **Un objet passant tous les criteres HEEP.**
- **Un jet additionnel dans l'evenement.**
- **Et aucun autre objet passant les coupures electron.**

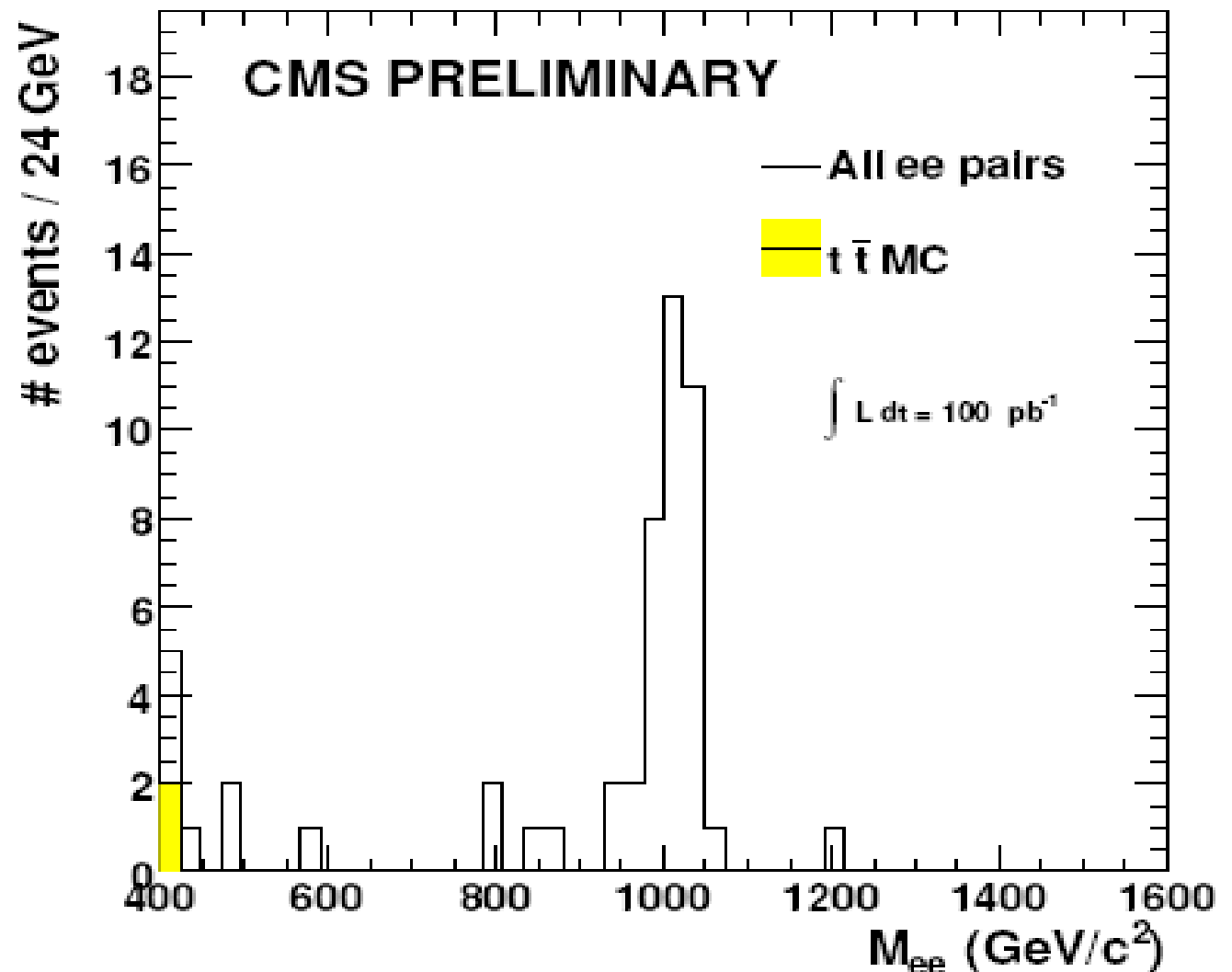
**Pondere l'evt avec le “fake rate” pour le 2<sup>nd</sup> jet et on corrige l'energie. Calcul de masse invariante.**





Spectre de masse attendu pour une pseudo-experience de 100 pb<sup>-1</sup>.

**Pic visible**  
**Autres bruits de**  
**fond negliges.**



**Spectre de masse  $e^+e^-$  apres selections finales pour  $M > 400 \text{ GeV}/c^2$  pour pseudo-experience de  $100 \text{ pb}^{-1}$ .**

## Decouverte 5 sigma :

- > Ajustement vraisemblance (unbinned likelihood fit), comportement signal et bruit de fond suppose connus.
- > Signal modelise comme convolution Breit-Wigner et Gaussienne (masse et largeur fixes aux parametres du modele).
- > Bruit de fond decrit par exponentielle multipliee par une loi de puissance (parametres fixes aux valeurs obtenues par ajustement au DY MC).
- > Fraction du signal : parametre libre.

Definit estimateur de rapport de vraisemblance :

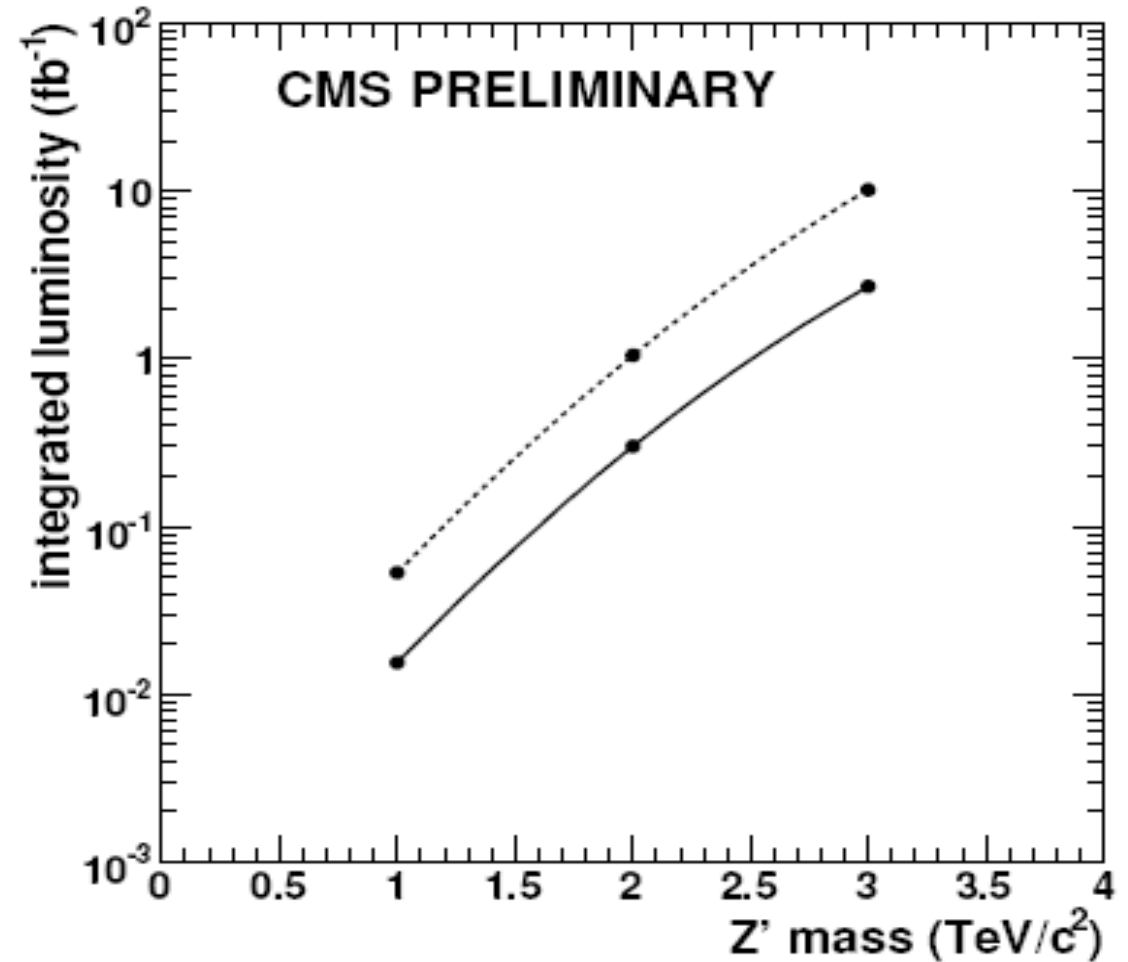
$$S = \sqrt{2 \ln(L_{s+b} / L_b)}$$

$L_{s+b}$  : ajustement vraisemblance pour signal et bruit de fond.

$L_b$  : ajustement vraisemblance pour bruit de fond uniquement.

---> Convention “S > 5” pour decouverte.

## Decouverte 5 sigma :



**Luminosite integree necessaire pour signficance de 5  $\sigma$  en fonction de la masse.**

**$\psi Z'$  (points superieurs) et SSM  $Z'$  (points inferieurs).**

**Limites d'exclusion** : Si aucun signal observe, limites d'exclusion.

---> Genere un nombre de pseudo-experiences a partir d'echantillons signal et bruit de fond. Moyenne (Poisson) du bruit de fond DY fixee a la valeur attendue pour la luminosite. Moyenne (Poisson) du signal  $\lambda_s$  varie.

---> Pour chaque  $\lambda_s$ , calcul de signficance (max. likelihood pour donnees reelles  $S_{data}$ ).

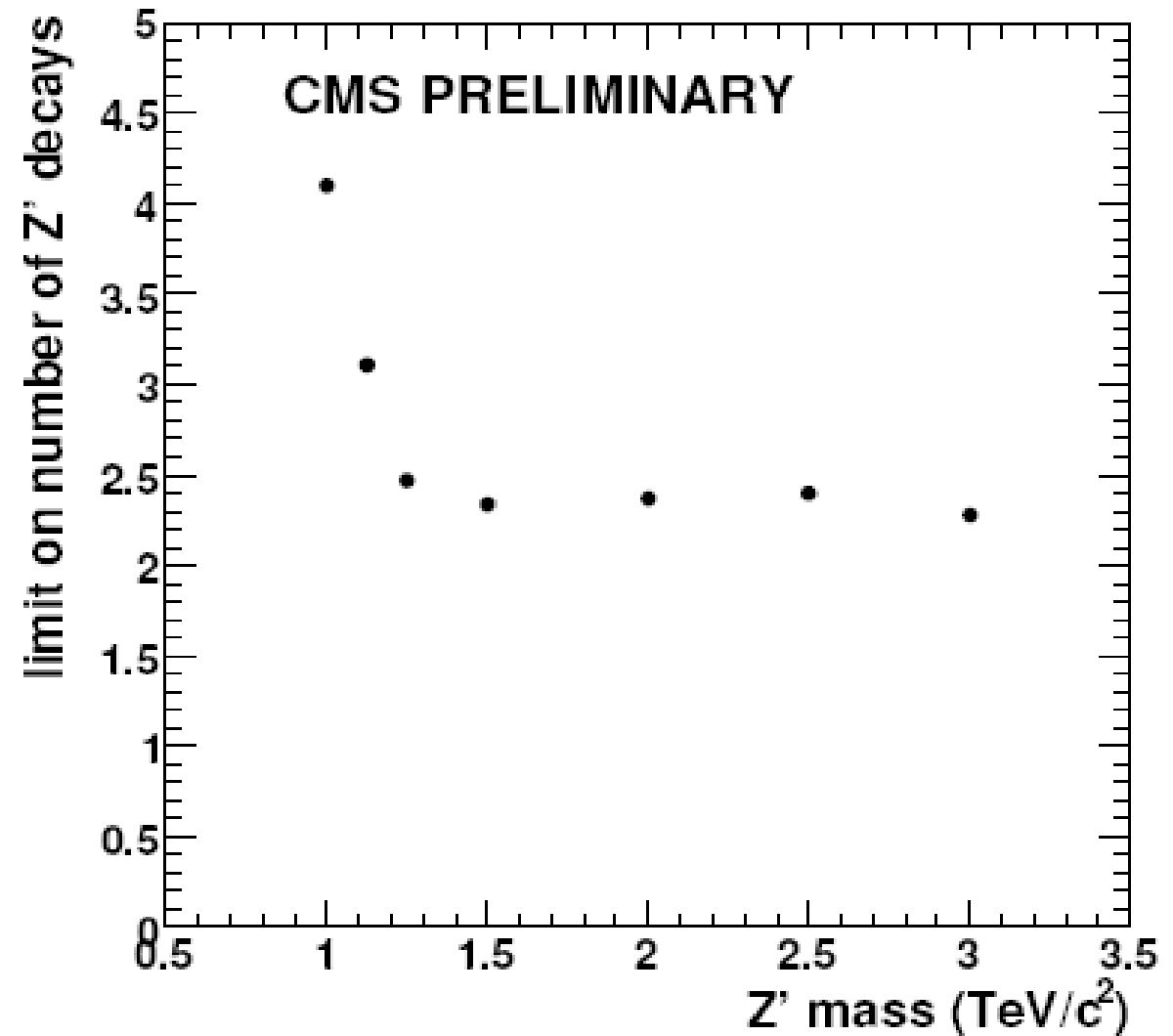
---> Exclusion a 95% :

Trouver toutes les valeurs de  $\lambda_s$  pour lesquelles  $S_{data} < S_{\lambda_s}$  pour 95% of des pseudo-experiences generees avec une moyenne poissonienne egale à  $\lambda_s$  evenements.

---> Limite à 95% en fonction de la masse :

Repeter cette procedure pour differentes masses de resonance.

## Limites superieures :



**Limites 95% CL attendues sur le nombre d'evenements attendus en fonction de la masse de la resonance.**

- > Potentiel de decouverte important.  
Strategie d'analyse edifiee.**
- > Demarrage du LHC reporte a septembre  
2009 du a un incident technique.**
- > Phases de comprehension du detecteur  
importantes au demarrage d'une machine  
(calibration, alignement).**



# BACKUP SLIDES





## Efficacites : Efficacites “Single” et (N-1).

B  
A  
R  
R  
E  
L

MC samples	DY ( $M > 200$ )	DY ( $M > 500$ )	SSM $Z'$ (1TeV)
efficiency relative to the precuts			
classification	0.91	0.91	0.91
$H/E$	0.99	0.99	0.98
$\Delta\eta_{in}$	0.99	0.99	0.99
$\Delta\phi_{in}$	1.00	1.00	1.00
$\sigma_{\eta\eta}$	0.99	0.99	0.98
EM + Had. depth 1 Isol.	0.95	0.95	0.95
Had. depth 2 Isol.	1.00	1.00	1.00
Tracker Isol.	0.99	0.99	0.99
(N-1) efficiencies			
classification	0.91	0.92	0.92
$H/E$	1.00	1.00	1.00
$\Delta\eta_{in}$	1.00	1.00	1.006
$\Delta\phi_{in}$	1.00	1.00	1.00
$\sigma_{\eta\eta}$	1.	1.	1.
EM + Had. depth 1 Isol.	0.94	0.97	0.98
Had. depth 2 Isol.	1.00	1.00	1.00
Tracker Isol.	1.00	1.00	1.00
total eff relative precuts	0.84	0.85	0.84

E  
N  
D  
C  
A  
P

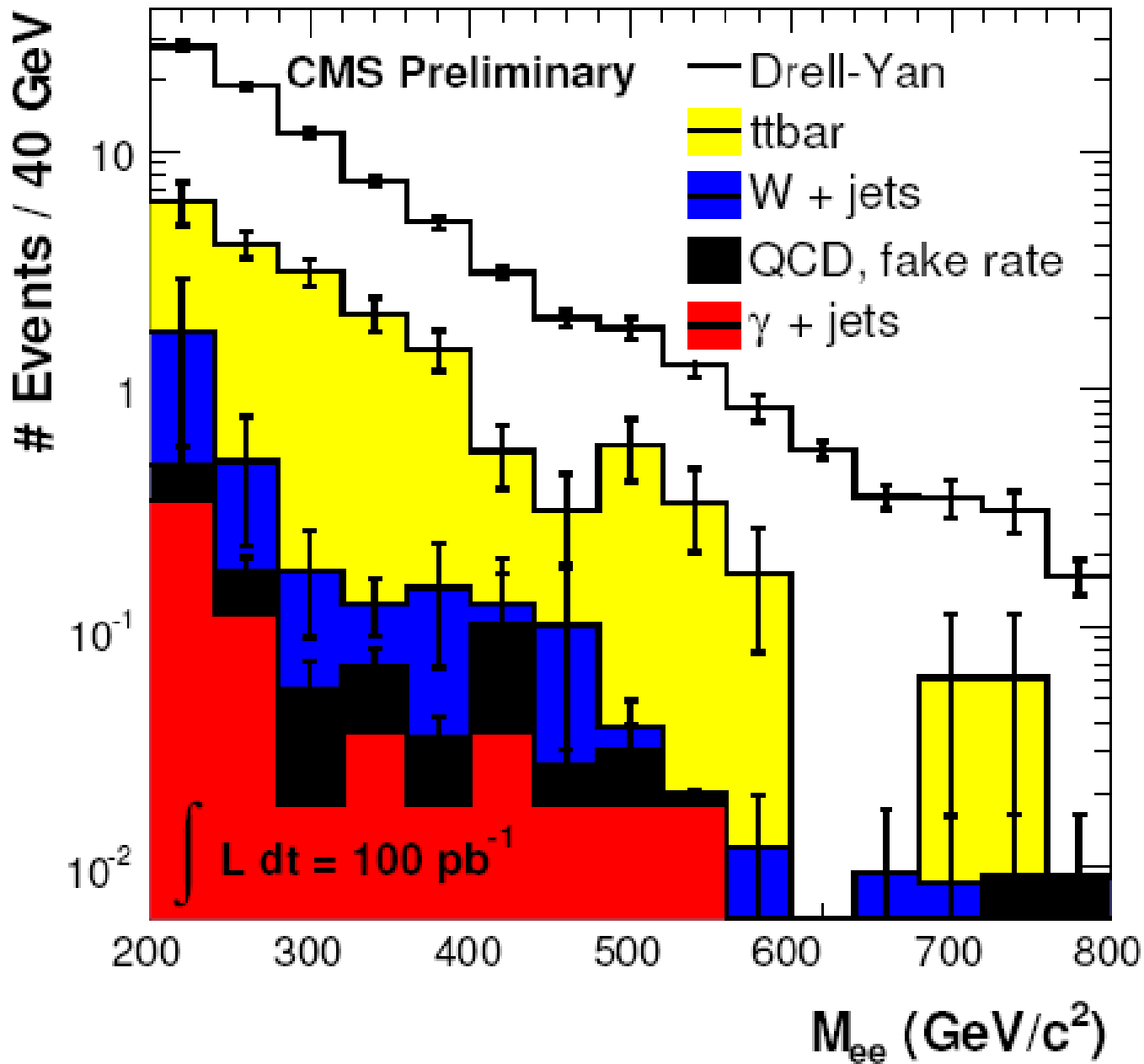
MC samples	DY ( $M > 200$ )	DY ( $M > 500$ )	SSM $Z'$ (1TeV)
efficiency relative to the precuts			
classification	-	-	-
$H/E$	1.00	0.99	0.99
$\Delta\eta_{in}$	1.00	1.00	1.00
$\Delta\phi_{in}$	1.00	1.00	1.00
$\sigma_{\eta\eta}$	1.00	1.00	1.00
ecal isol	0.96	0.96	0.97
hcal isol	0.99	0.99	0.98
tracker isol	0.99	0.99	0.99
(N-1) efficiencies			
classification	-	-	-
$H/E$	1.00	1.00	1.00
$\Delta\eta_{in}$	1.00	1.00	1.00
$\Delta\phi_{in}$	1.00	1.00	1.00
$\sigma_{\eta\eta}$	1.00	1.00	1.00
EM + Had. depth 1 Isol.	0.97	0.97	0.98
Had. depth 2 Isol.	0.99	0.99	0.99
Tracker Isol.	0.99	0.99	0.99
total eff relative precuts	0.94	0.94	0.94

**Efficacites** : Selection evenements avec deux electrons HE satisfaisant precedents criteres avec  $E_t > 80$  GeV dans la region de haute masse ( $M > 200$  GeV/c<sup>2</sup>) et  $E_t > 30$  GeV dans la region de basse masse.

MC samples (masses in GeV/c <sup>2</sup> )	DY ( $M > 200$ )	DY ( $M > 500$ )	SSM Z' (M=1000)
gen: 2 el with $ \eta  < 2.5, p_t > 30$	0.58	0.78	0.82
precuts efficiency relative to gen			
precuts: 2 gsf reco ( $ \eta , p_t$ ) + out gap	0.81	0.82	0.84
SINGLE efficiency relative to the precuts			
classification	0.88	0.88	0.88
$H/E$	0.97	0.96	0.96
shower shape	0.95	0.95	0.94
isolation ECAL/HCAL	0.89	0.89	0.89
isolation tracker	0.98	0.98	0.97
isolation	0.88	0.88	0.88
(opposite sign)	(0.93)	(0.91)	(0.89)
CUMULATIVE efficiency relative to the precuts			
classification	0.88	0.88	0.88
in addition: $H/E$	0.86	0.85	0.84
in addition: shower shape	0.83	0.83	0.82
in addition: isolation ECAL/HCAL	0.75	0.76	0.75
in addition: isolation tracker	0.75	0.75	0.75
(in addition: charge)	(0.70)	(0.69)	(0.67)
total eff relative precuts	0.75 (0.70)	0.75 (0.69)	0.75 (0.67)
total eff relative to gen	0.35 (0.33)	0.48 (0.44)	0.51 (0.46)

## Efficacite : Nombre d'evenements attendu.

MC samples: (masses in $\text{GeV}/c^2$ )	DY ( $M > 200$ )	DY ( $M > 500$ )	SSM $Z'$ ( $M = 1000$ )
$\sigma \cdot \text{BR}$ (fb)	2524	99	458
nb. events for $0.1 \text{ fb}^{-1}$	252	9.9	45.8
AND 2 el. with $ \eta  < 2.5, E_t > 30 \text{ GeV}$	147	7.8	37
nb. events after precuts	118	6.4	31
+ $H/E$ and shower shape	98	5.3	26
+ isolation	88	4.8	24
Total number of events	88	4.8	24



cut quantity	cut value
number of L1 matched superclusters	$>0$
$E_t$	$> 18 \text{ GeV}$
$H_T$	$< \text{Max}(0.05E_t, 3) \text{ GeV}$
Pixel Match	$> 0$
$ 1/E - 1/p $	$< 0.03$
Tracker Isolation	$< 0.06$

Table 3: Relaxed Single Electron trigger.

cut quantity	cut value
number of L1 matched superclusters	$>0$
$E_t$	$> 80 \text{ GeV}$
Ecal isolation	$< 5 \text{ GeV}$
H/E	$< 5\%$
Hcal isolation	$< 8 \text{ GeV}$
track number	$< 4$

Table 4: High  $E_t$  trigger.

cut quantity	cut value
number of L1 matched superclusters	$>0$
$E_t$	$>200 \text{ GeV}$

Table 5: Very High  $E_t$  trigger.

Variable	Barrel	Endcap
$E_t$	$\geq 20 \text{ GeV}$	$\geq 20 \text{ GeV}$
$\eta_{sc}$	$ \eta_{sc}  \leq 1.442$	$1.560 \leq  \eta_{sc}  \leq 2.5$
H/E	$< 0.2$	$< 0.2$
$ \Delta\eta_{in} $	$< 0.02$	$< 0.02$
$ \Delta\phi_{in} $	$< 0.1$	$< 0.1$

Table 16: The very loose electron cuts used for constructing the jet faking electron sample.