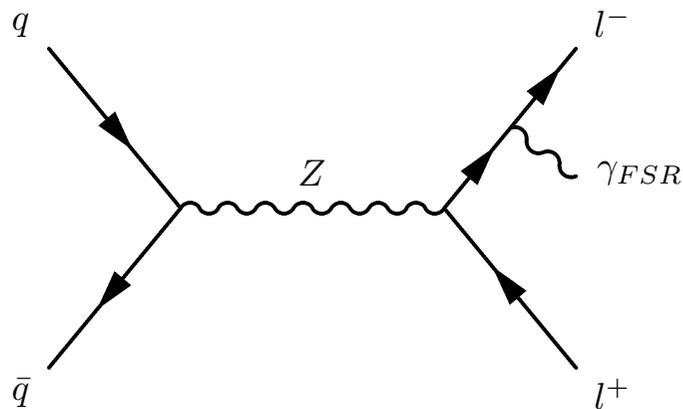




# Correction des radiations dans l'état final dans $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$



David Sabes

LLR – Ecole Polytechnique



# Outline

## Introduction

- Motivation

## I. Le LHC et le détecteur CMS

## II. L'analyse $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

## III. Etude des FSR au niveau générateur

## IV. Algorithme de récupération des FSR

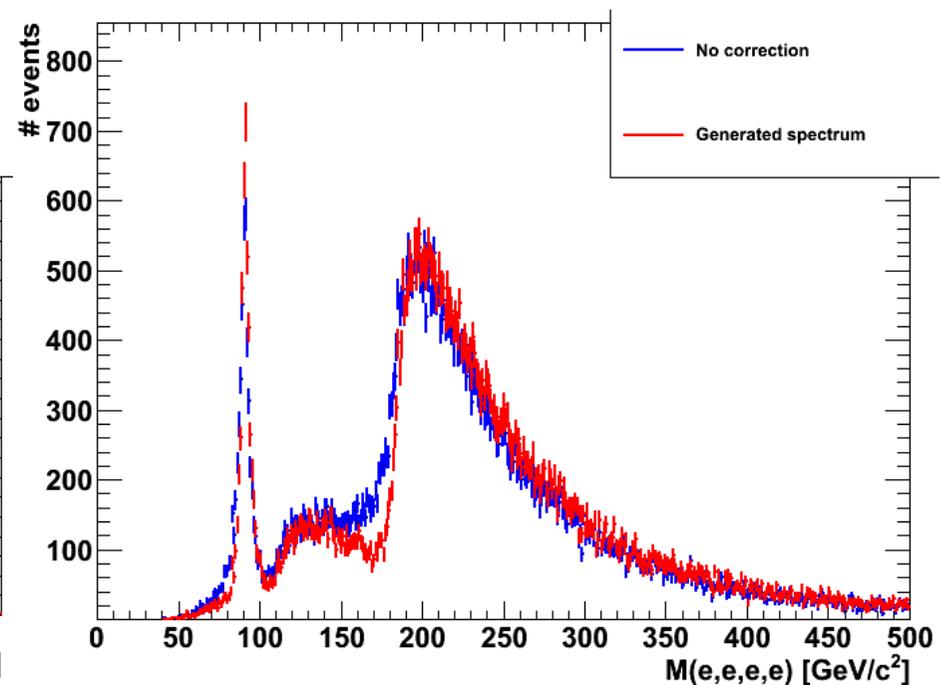
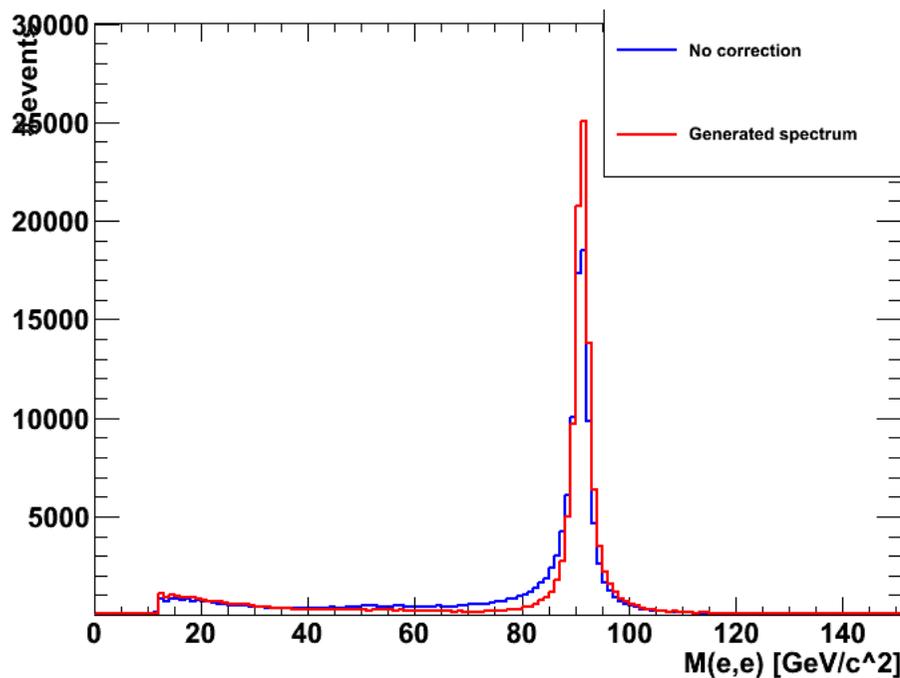
## V. Resultat sur les données ( $1.6 \text{ fb}^{-1}$ )

## Conclusion

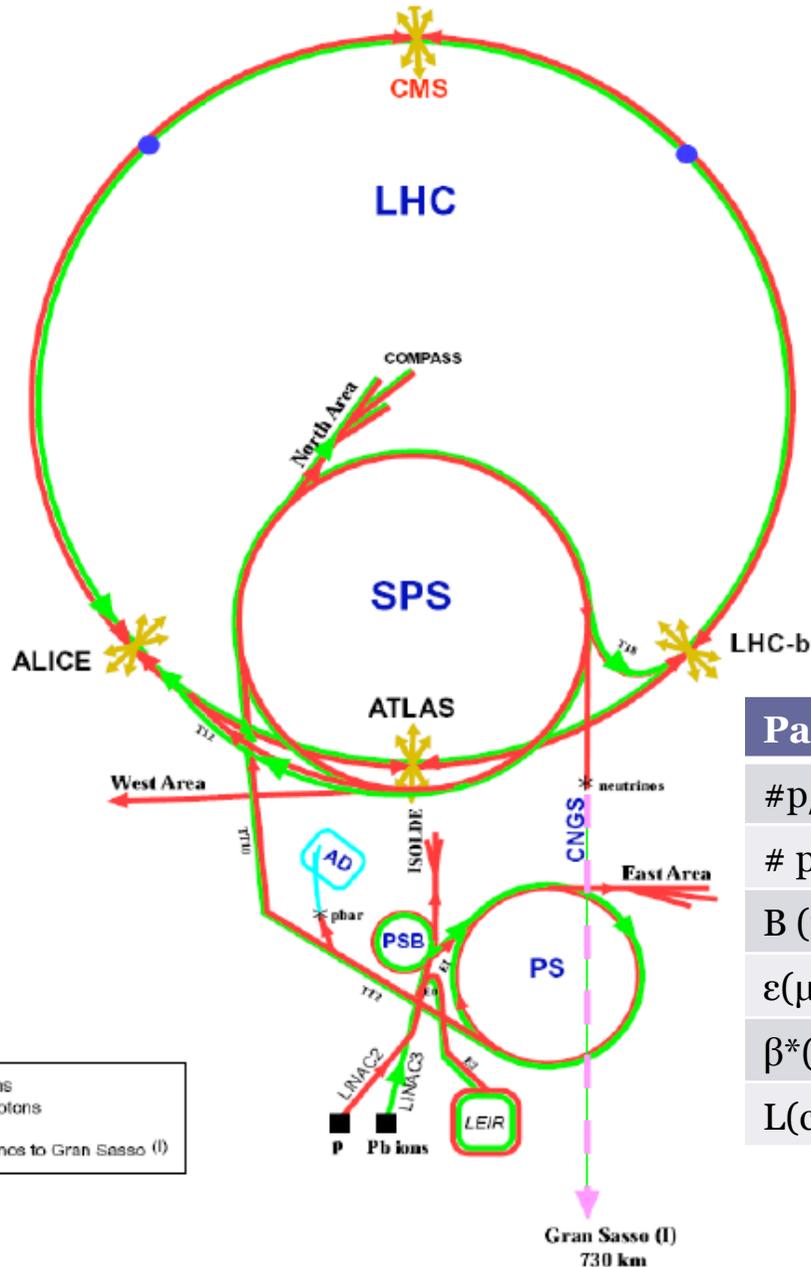
**Disclaimer :**  
**No Higgs mass in this talk!!!**

# Introduction

- Les radiations de photons dans l'état final (Final state radiation, FSR) affectent le spectre de masse du Z, et par conséquent du Higgs, et altèrent les distributions cinématiques des Z.
- Les enjeux:
  - Récupérer la composante FSR permet d'améliorer la mesure de masse sur le Z et sur le Higgs.
  - Assurer la correction tout en garantissant la pureté.



# I. Le LHC et le détecteur CMS

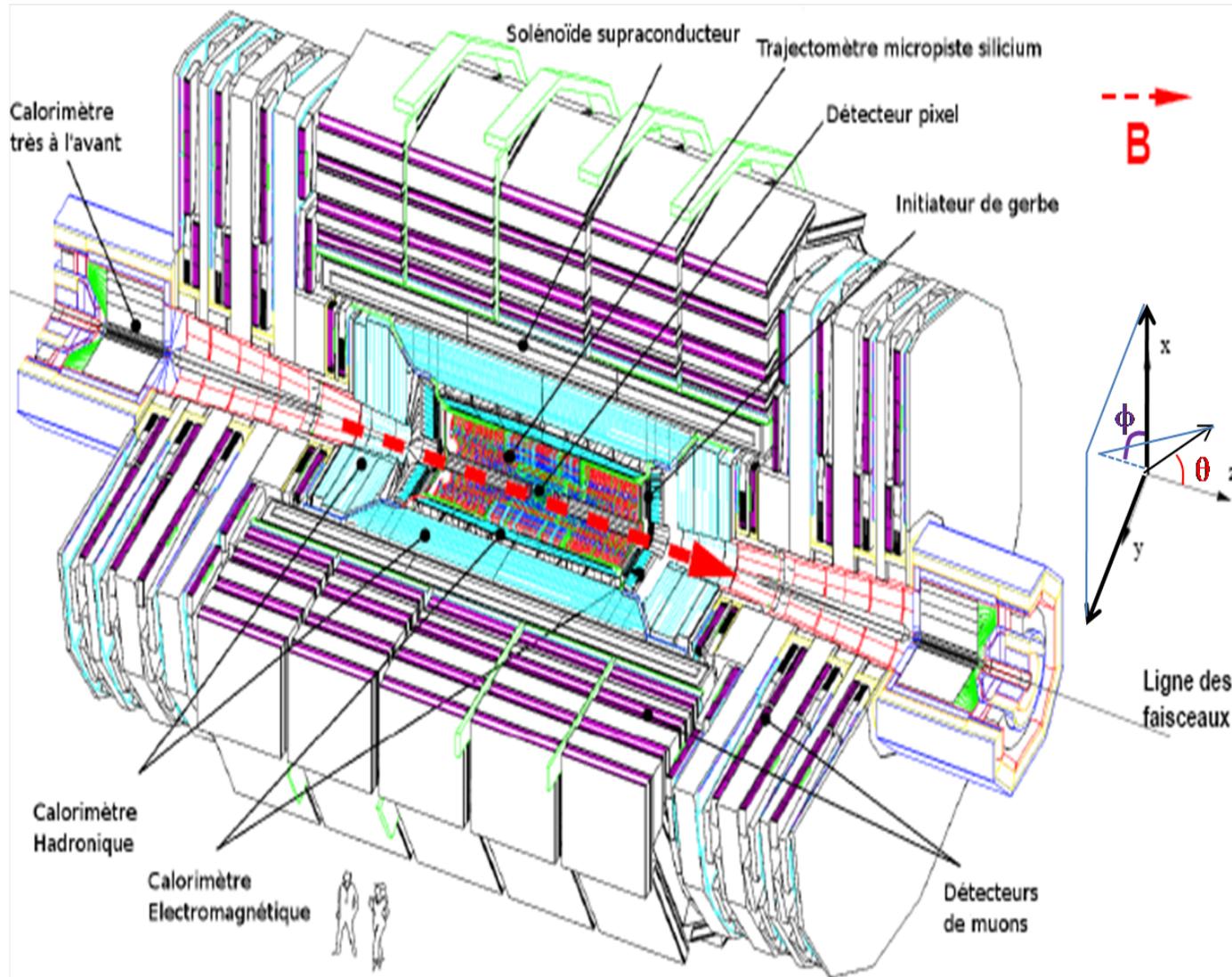


## Le Large Hadron Collider:

- Collisionneur p-p / ions lourds
- Energie : 7 TeV
- Luminosité délivrée ATLAS/CMS  
2010-2011 :  $5.6 \text{ fb}^{-1}$
- Luminosité considérée cette  
présentation :  $1.66 \text{ fb}^{-1}$

Paramètres	2010	2011	Nominal
#p/paquet ( $10^{11}$ ) : N	1.2	1.5	1.15
# paquet : k	368	1380	2808
B (ns)	150	50	25
$\epsilon$ ( $\mu\text{m rad}$ )	2.4-4	1.9-2.3	3.75
$\beta^*$ (m)	3.5	1	0.55
$L(\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$2 \cdot 10^{32}$	$3.6 \cdot 10^{33}$	$10^{34}$

# I. Le LHC et le détecteur CMS



## Quelques chiffres :

- 21m de long
- 15m de large
- 15m de haut
- 12500 tonnes

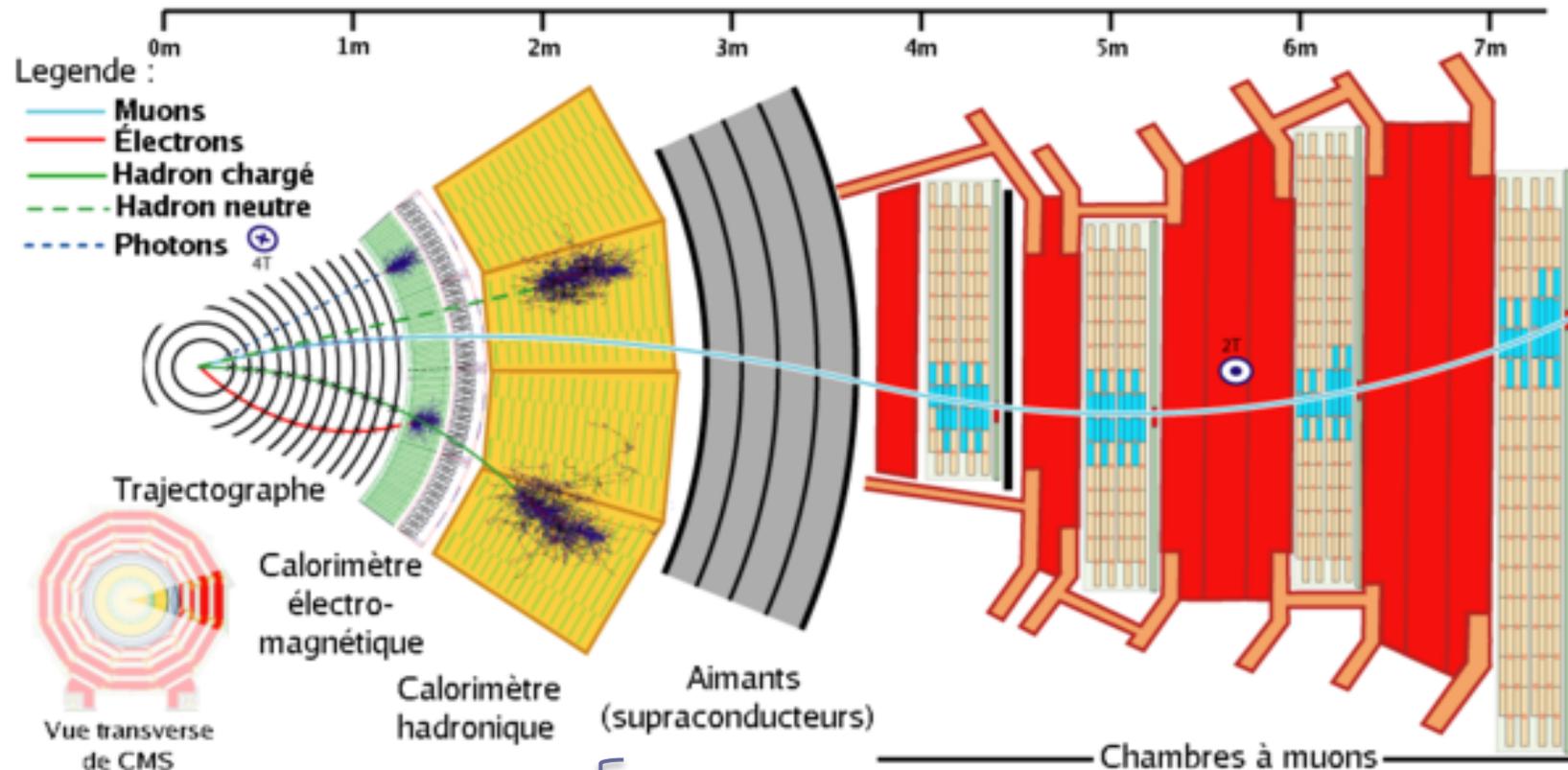
## Configuration :

- Tonneau et bouchon

## Collaboration :

- 3000 ingénieurs et scientifiques
- $\approx 400$  étudiants
- 183 laboratoires et instituts
- 38 pays

# I. Le LHC et le détecteur CMS



## Trace dans trajectographe:

- points d'impacts dans les différentes couches du trajectographe formant une trace

**Dépôts dans les chambres à muons**

**= MUON**

**Super-agrégat dans le ECAL:**

**= ELECTRON**

- agrégat dépassant un seuil en énergie (agrégat électron) en correspondance avec le trace
- regroupement des agrégats voisins collectés suivant une fenêtre de prospection optimisée pour la récupération des photons de bremsstrahlung

## II. L'analyse $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

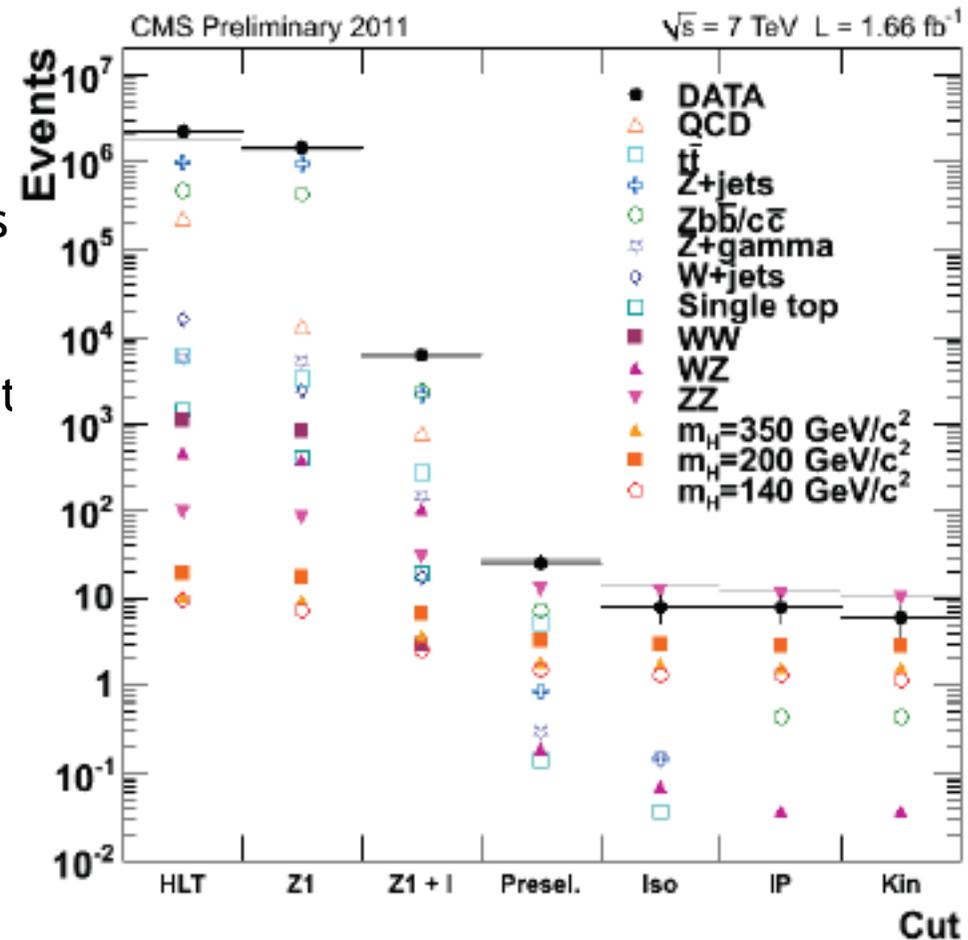
Les différentes étapes de sélection:

- Topologie du signal: 4 leptons ( $l=e, \mu$ ) isolés
- Bruit de fond principaux:  $Z$ +jets,  $Z$ +bb,  $t\bar{t}$ bar (réductibles)  
 $ZZ$ (irréductible)
  1. Recherche et sélection d'un  $Z_1$  tel que:
    - $m_{Z_1} > 50 \text{ GeV}/c^2$ ;
    - $p_{T1} > 20 \text{ GeV}/c$ ;  $p_{T2} > 10 \text{ GeV}/c$ ;  $|\eta| < 2.4$  (muons) ; 2.5 (électrons)
    - Coupure d'isolation :  $(\text{RelIso}_1 + \text{RelIso}_2) < 0.35$
    - Coupure sur le paramètre d'impact:  $|\text{SIP3D}| < 4$
  2.  $Z_1$  + un lepton additionnel
  3.  $Z_1$  + 2 leptons de même saveur et de signe opposé.
  4. Choix du meilleur candidat 4 leptons:
    - $m_{Z_2} > 12 \text{ GeV}/c^2$
    - $m_{4l} > 100 \text{ GeV}/c^2$
    - Les  $3/4$  des combinaisons  $l^+l^-$  telles que  $m_{ll} > 12 \text{ GeV}/c^2$
  5. Pour toutes les combinaisons de leptons
    - $(\text{RelIso}_i + \text{RelIso}_j) < 0.35$
  6.  $|\text{SIP3D}| < 4$
  7. Sélection cinématique  $Z/Z^*$ 
    - $p_{T1} > 20 \text{ GeV}/c$ ;  $p_{T2} > 10 \text{ GeV}/c$ ;  $p_{T_{3,4}} > 7$  (cas électron) /  $> 5$  (cas muon)
    - $50 < m_{Z_1} < 120$  et  $12 < m_{Z_2} < 120 \text{ GeV}/c^2$

## II. L'analyse H- $\rightarrow$ ZZ- $\rightarrow$ 4l

Exemple de l'effet de la sélection dans le cas 2e2 $\mu$

- Très bon accord données/MC
  - Z+leptons supplémentaires réduit WZ, WW, Z+jets
  - Z+jet essentiellement réduit par la demande de 2 leptons supplémentaires
  - Zbb et ttbar sont réduits par les coupures sur l'isolation et sur le paramètre d'impact

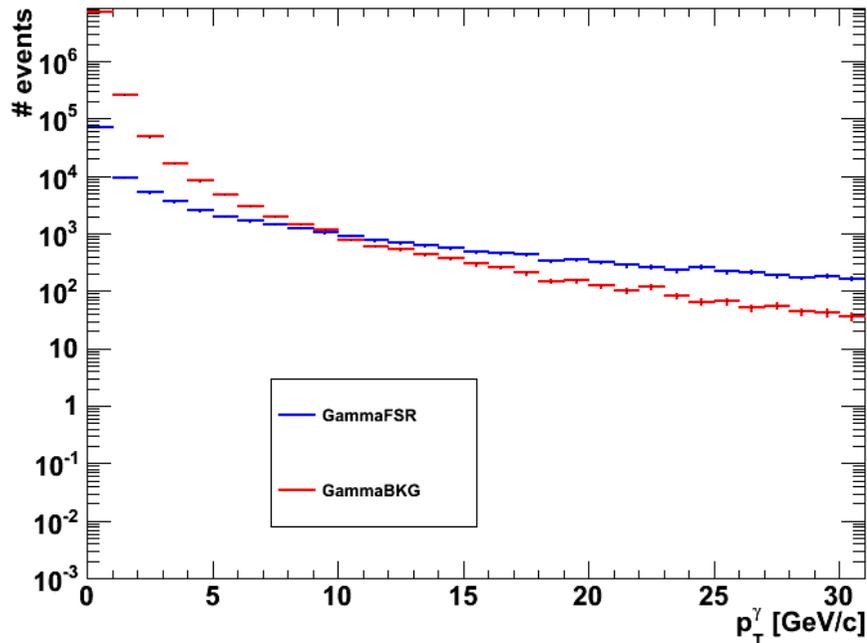


### Objectif:

- Ajouter en fin d'analyse, sur les événements sélectionnés, un algorithme de récupération de la composante FSR et corriger la masse  $m_{4l}$ .

### III. Etude des FSR au niveau générateur

- Comparer les distributions photons FSR vs bruit de fond venant des ISR, du pile-up
- Etablir des coupures afin d'isoler le signal



$$dR = \sqrt{\left(\eta_l - \eta_{\gamma_{FSR}}\right)^2 + \left(\phi_l - \phi_{\gamma_{FSR}}\right)^2}$$

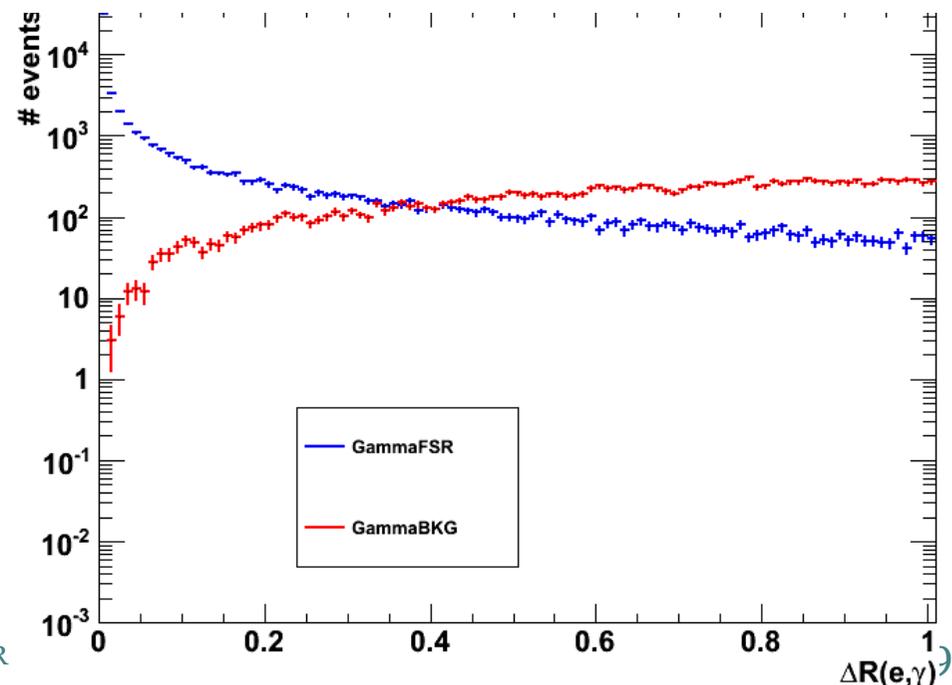
Les photons issus du bruit de fond sont à plus grand  $dR$  du plus proche lepton que les photons FSR

- Coupure  $dR < 0.7$

Les photons issus du bruit de fond sont à plus basse énergie transverse que les photons FSR.

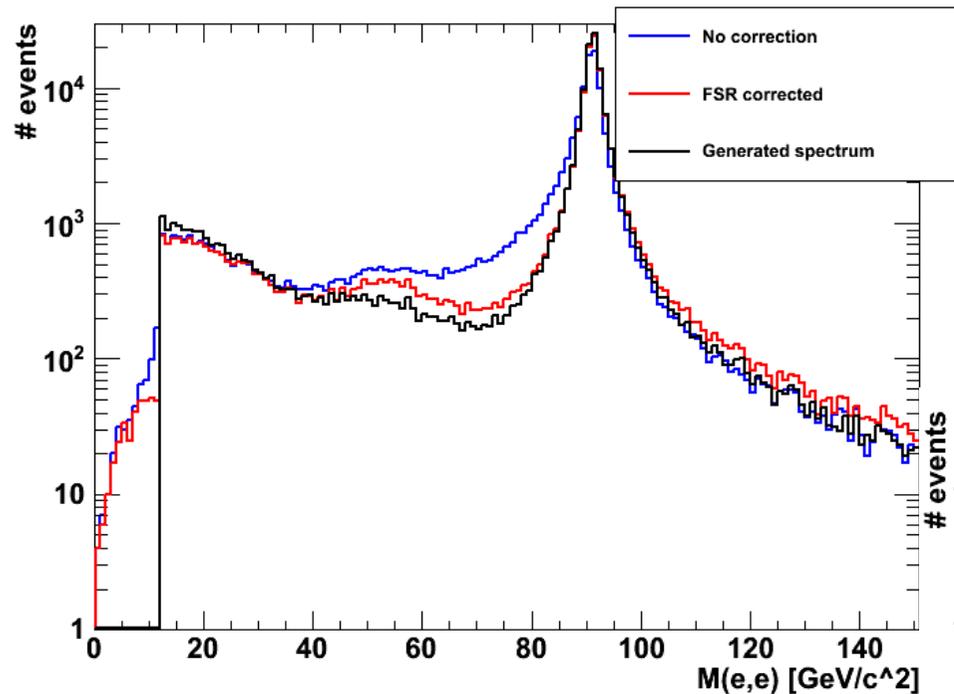
Cependant 91% des photons FSR ont  $E_t < 10\text{GeV}$

- Coupure  $E_t = 5\text{GeV}$



### III. Etude des FSR au niveau générateur

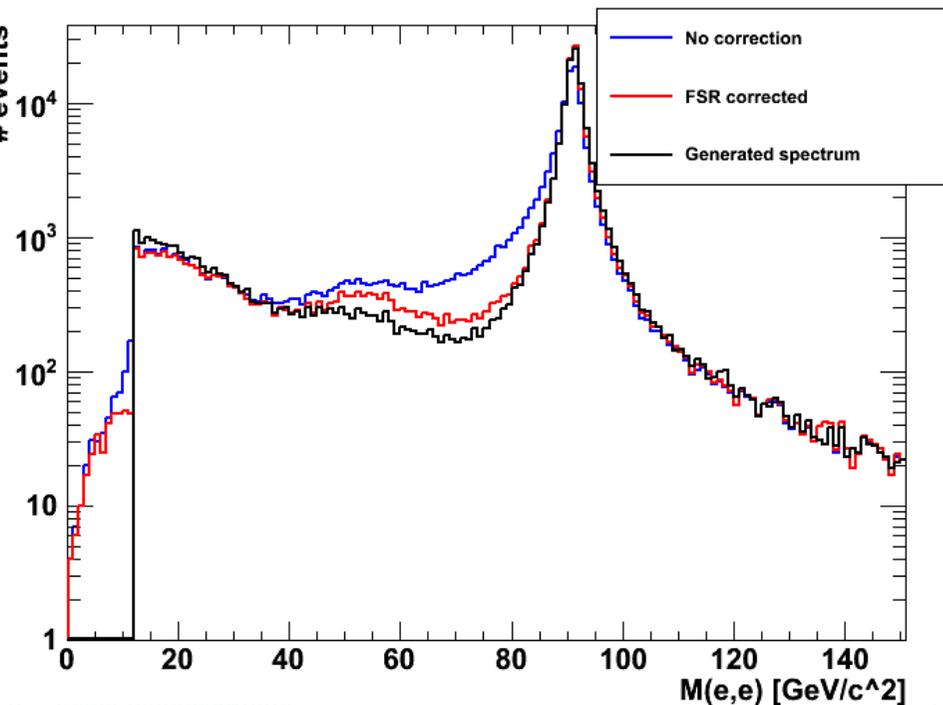
- Algorithme simple et effet sur le spectre de masse:
  - candidats FSR = photons  $E_t > 5\text{GeV}$ ,  $dR(\text{photon}, \text{lepton}) < 0.7$



Phénomène de sur-correction à haute masse.

- Ne considérer la contribution FSR que si cette dernière rapproche la masse corrigée de la masse nominale  $m_Z = 91.18$

- La contrainte de masse n'étant pas appropriée pour les  $Z^*$ , ne l'appliquer et ne corriger que pour les candidats Z tels que  $50 < m_Z < 120 \text{ GeV}/c^2$



### III. Etude des FSR au niveau générateur

➤ Performance, calcul de pureté :

Pureté	$ZZ \rightarrow 4e$	$ZZ \rightarrow 4\mu$
Simple association au lepton le plus proche	2.6%	2.5%
$E_t > 5\text{GeV}$	47.02%	31.54%
$E_t > 5\text{GeV}$ et $dR < 0.7$	83.82%	71.97%
$E_t > 5\text{GeV}$ et $dR < 0.7$ et contrainte de masse	97.59%	96.22%

➤ A l'issue de la reconstruction des objets leptons, de nouvelles contraintes apparaissent: super-agrégat, cone d'isolation ( $dR < 0.3$ ) ... et nécessitent d'adapter le code en conséquence

Effets de la reconstruction:

- ✓ Le super-agrégat des électrons, permet de récupérer 59% des photons FSR.
- ✗ Le cone d'isolation autour des leptons
  - Supprime les événements avec un photon tel que  $dR < 0.3$
  - Nous oblige à ne considérer que les photons tels que  $0.3 < dR < 0.7$

### III. Etude des FSR au niveau générateur

Pureté	$ZZ \rightarrow 4e$	$ZZ \rightarrow 4\mu$
Simple association au lepton le plus proche	2.6%	2.5%
$E_t > 5\text{GeV}$	47.02%	31.54%
$E_t > 5\text{GeV}$ et $0.3 < dR < 0.7$	35.68%	37.27%
$E_t > 5\text{GeV}$ et $0.3 < dR < 0.7$ et contrainte de masse	79.34%	84.31%

On corrige

- $ZZ \rightarrow 4e$  : 2.05% des cas
- $ZZ \rightarrow 4\mu$  : 2.17% des cas

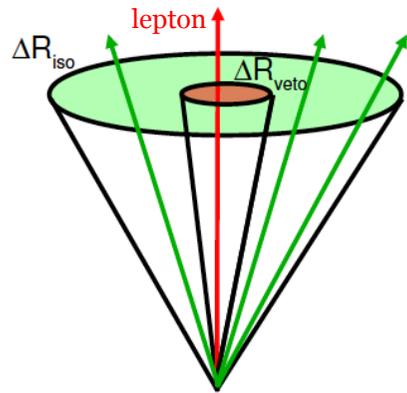
## IV. Algorithme de récupération des FSR

- A l'aide de l'étude des photons FSR au niveau générateur, une série de coupures a été définies :
  - $E_t > 5\text{GeV}$
  - $0.3 < dR < 0.7$
  - contrainte de masse (ne garder que les candidats FSR qui approche la masse corrigée de la masse nominale)
  
- Au niveau de la reconstruction, la présence de pile-up, de faux-leptons reconstruits impliquent de nouveaux critères de sélection en plus des précédents:
  - Isolation sur les traces autour du photon :  $T_{k\text{Iso}} < 2\text{GeV}$
  - Ne considérer que les photons qui corrigent la masse dilepton à l'intérieur de  $91.2 \pm 10\text{GeV}/c^2$
  - Lorsque plusieurs candidats pour un Z : les considérer par ordre croissant en dR et ne garder que le premier qui vérifie tous les critères de sélection précédents.

Une isolation permettant la meilleure rejection du fond est nécessaire pour  
HZZ4l

L'isolation utilise le Tracker+ECAL+HCAL

## IV. Etude des FSR au niveau générateur



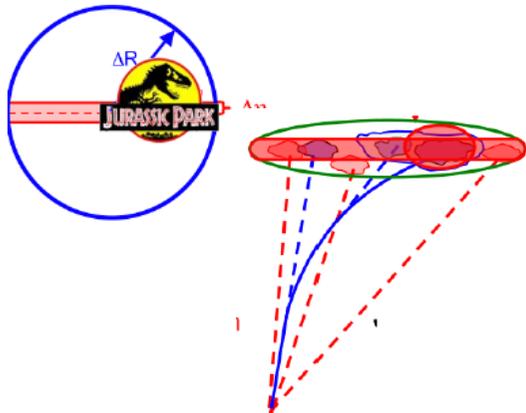
Isolation trace (TkIso) = Somme des  $p_T$  des traces dans le cône d'isolation

- $\Delta R_{\text{Iso}} = 0.3$
- $\Delta R_{\text{veto}} = 0.015$  sert à isoler du calcul le lepton originel



Isolation HCAL = somme des dépôts (Et) HCAL

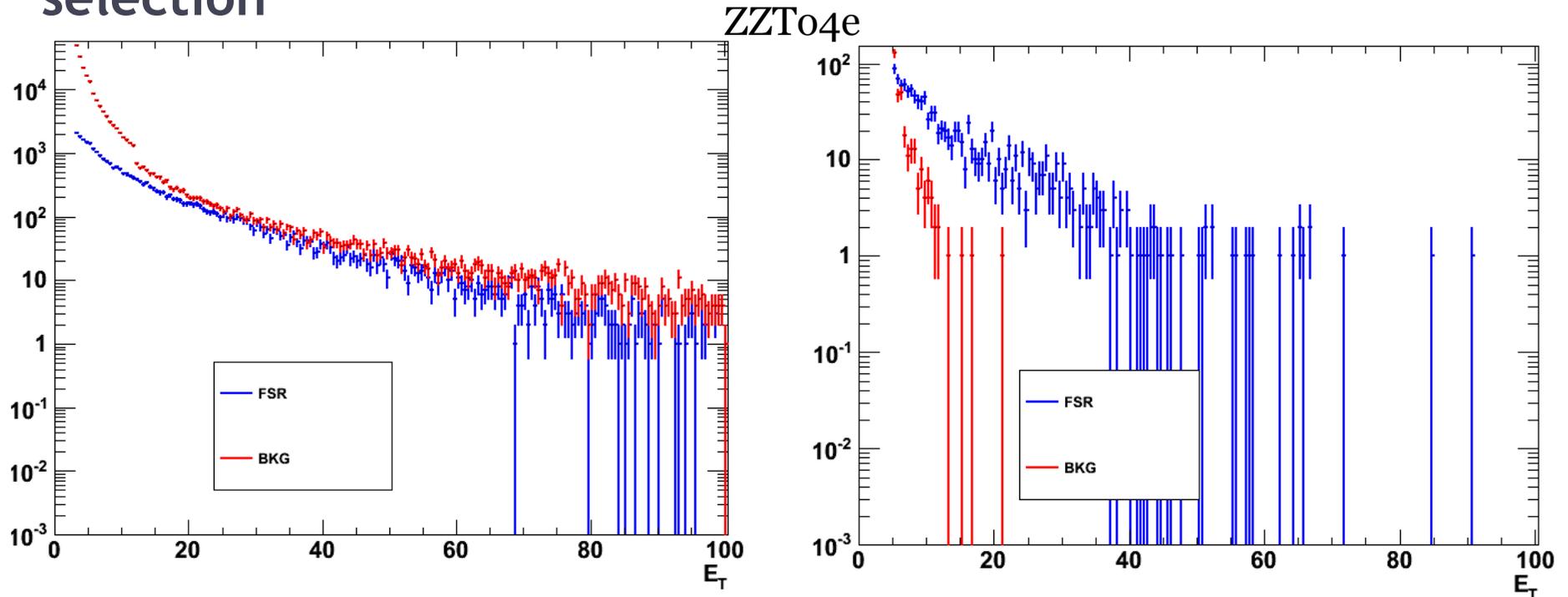
- $\Delta R_{\text{Iso}} = 0.3$



Isolation ECAL = somme des dépôts (Et) dans le calorimètre électromagn.

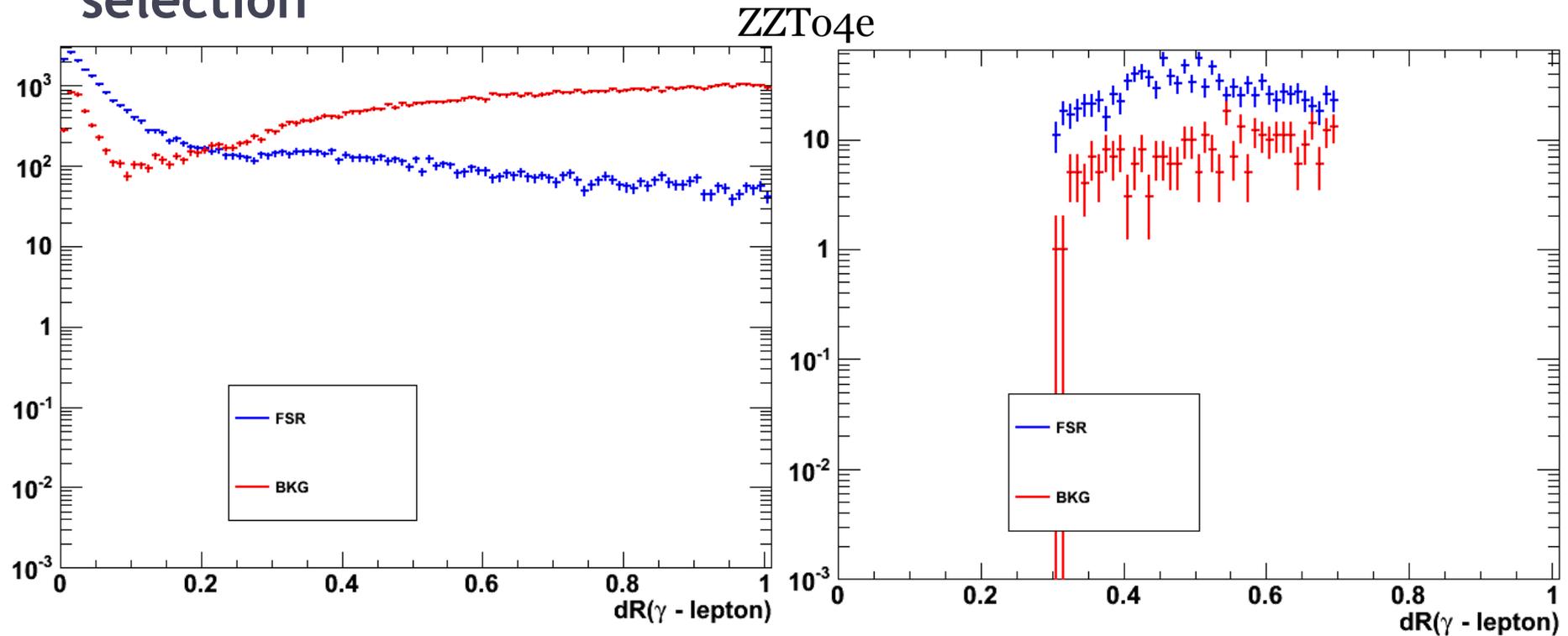
- Cas électron : méthode « Jurassic » pour isoler dans la zone considérée ( $\Delta R_{\text{Iso}} = 0.3$ ), le super-agrégat de l'électron

## IV. Algorithme de récupération des FSR : effet de la sélection



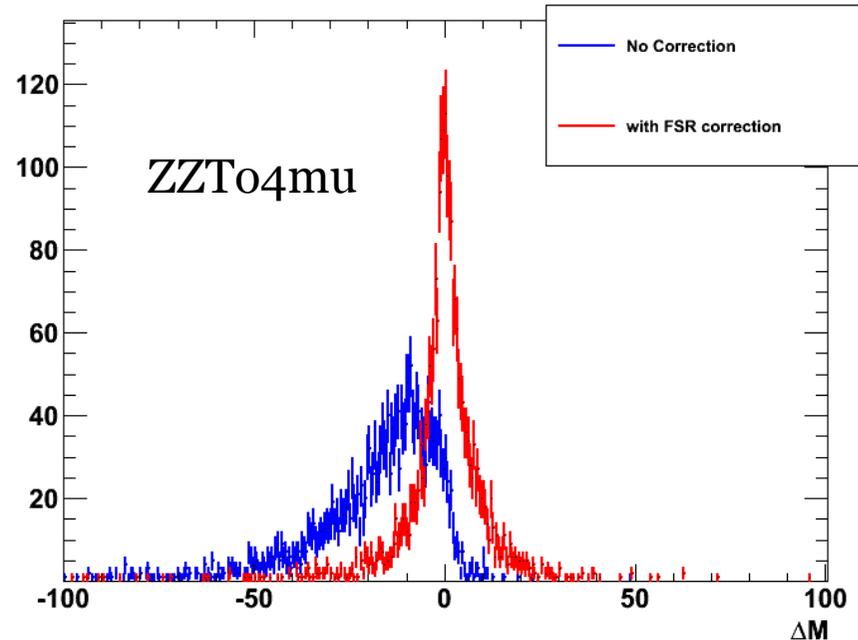
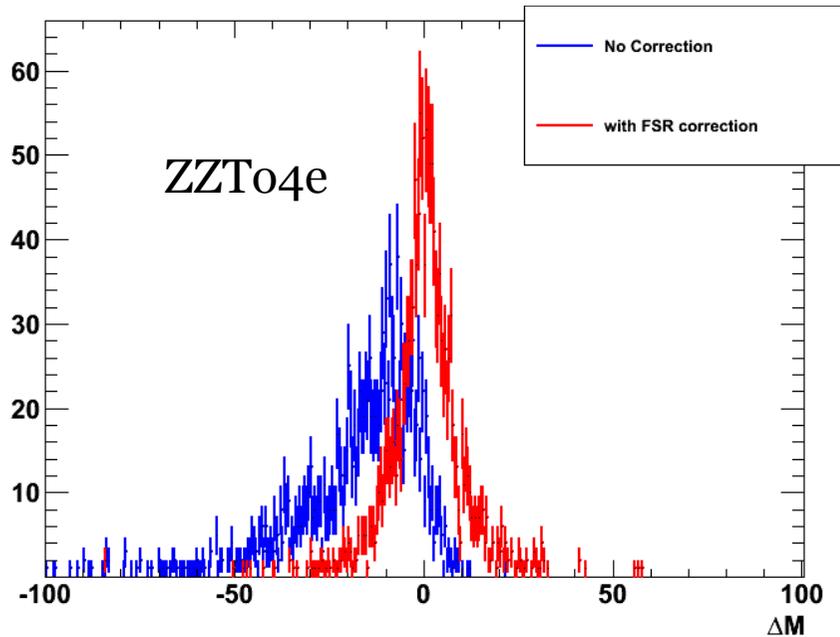
- Deux collections sont considérées: photons( $E_T > 10$ ) et super-agrégats( $E_T < 10 \text{ GeV}$ )
- Pallier dû à une coupure sur H/E pour les photons (affecte essentiellement le bruit de fond)
- Pallier supprimé par la coupure TkIso

# IV. Algorithme de récupération des FSR: effet de la sélection



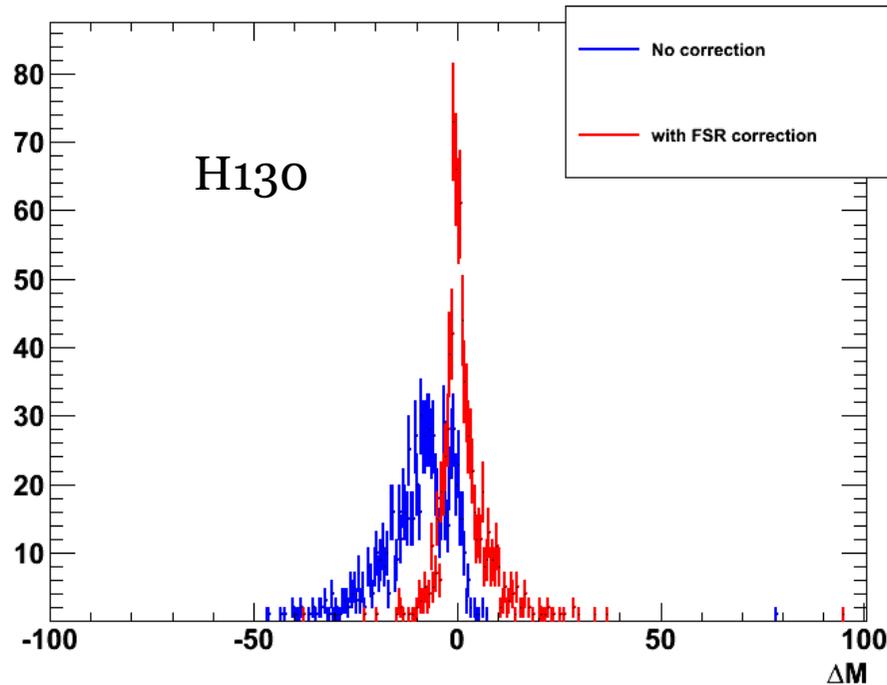
Pureté	$ZZ \rightarrow 4e$	$ZZ \rightarrow 4\mu$
$E_t > 5\text{GeV}$	12.01%	20.73%
$E_t > 5\text{GeV} + \text{TkIso}$	22.73%	36.05%
$E_t > 5\text{GeV} + \text{TkIso} + 0.3 < dR < 0.7$	48.16%	49.16%
$E_t > 5\text{GeV} + \text{TkIso} + 0.3 < dR < 0.7 + \text{contrainte de masse} \ \& \ 81.2 < m_Z < 101.2 \text{GeV}/c^2$	74.43%	78.59%

## IV. Algorithme de récupération des FSR: performance



<b>%événements corrigés</b>	<b><math>ZZ \rightarrow 4e</math></b>	<b><math>ZZ \rightarrow 4\mu</math></b>
$E_t > 5\text{GeV} + \text{TkIso}$	22.8%	25.2%
$E_t > 5\text{GeV} + \text{TkIso} + 0.3 < dR < 0.7$	3.5%	3.5%
$E_t > 5\text{GeV} + \text{TkIso} + 0.3 < dR < 0.7 + \text{contrainte de masse} \ \& \ 81.2 < m_Z < 101.2\text{GeV}/c^2$	1%	1.0%

## IV. Algorithme de récupération des FSR: performance



<b>%événements corrigés</b>	<b><math>ZZ \rightarrow 4e</math></b>	<b><math>ZZ \rightarrow 4\mu</math></b>
Et > 5 GeV + TkIso	24.8%	25.3%
Et > 5 GeV + TkIso + $0.3 < dR < 0.7$	2.5%	2.8%
Et > 5 GeV + TkIso + $0.3 < dR < 0.7$ + contrainte de masse & $81.2 < m_Z < 101.2 \text{ GeV}/c^2$	0.5%	0.7%

## V. Application sur les données ( $1.6 \text{ fb}^{-1}$ )

### Candidat 4leptons ( $4\mu$ )

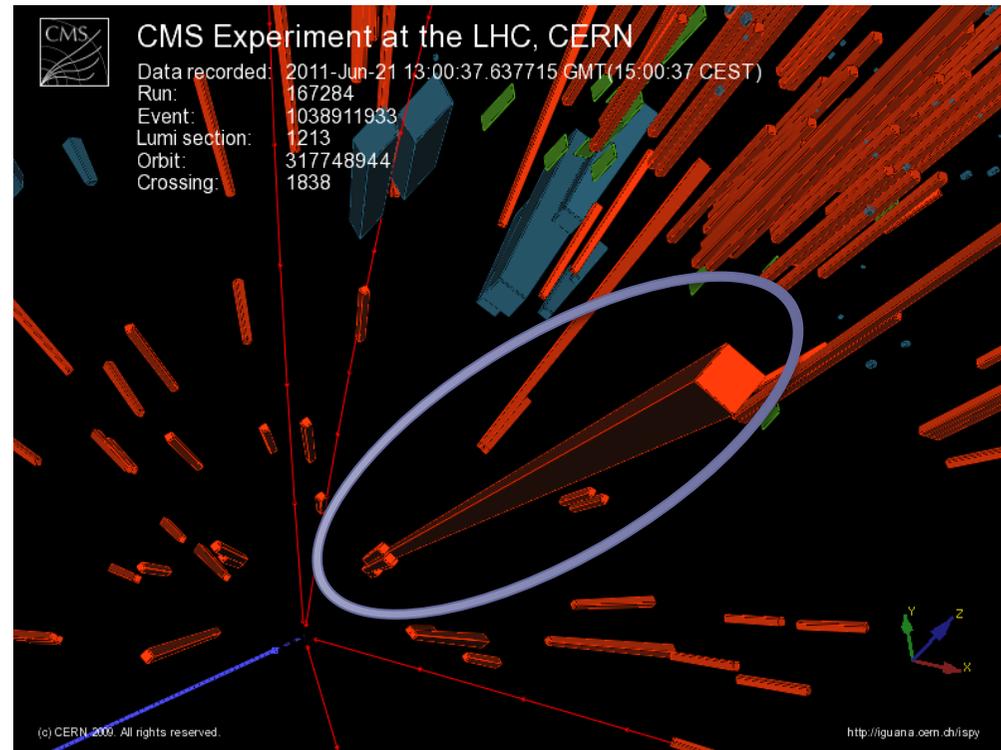
- $m_{Z_1} = 77.80 \text{ GeV}/c^2$
- $m_{Z_2} = 29.67 \text{ GeV}/c^2$
- $m_{4l} = 119.03 \text{ GeV}/c^2$

### Un candidat FSR:

- $E_t = 12.88 \text{ GeV}$
- $dR = 0.57$
- $TkIso = 0.16 \text{ GeV}$

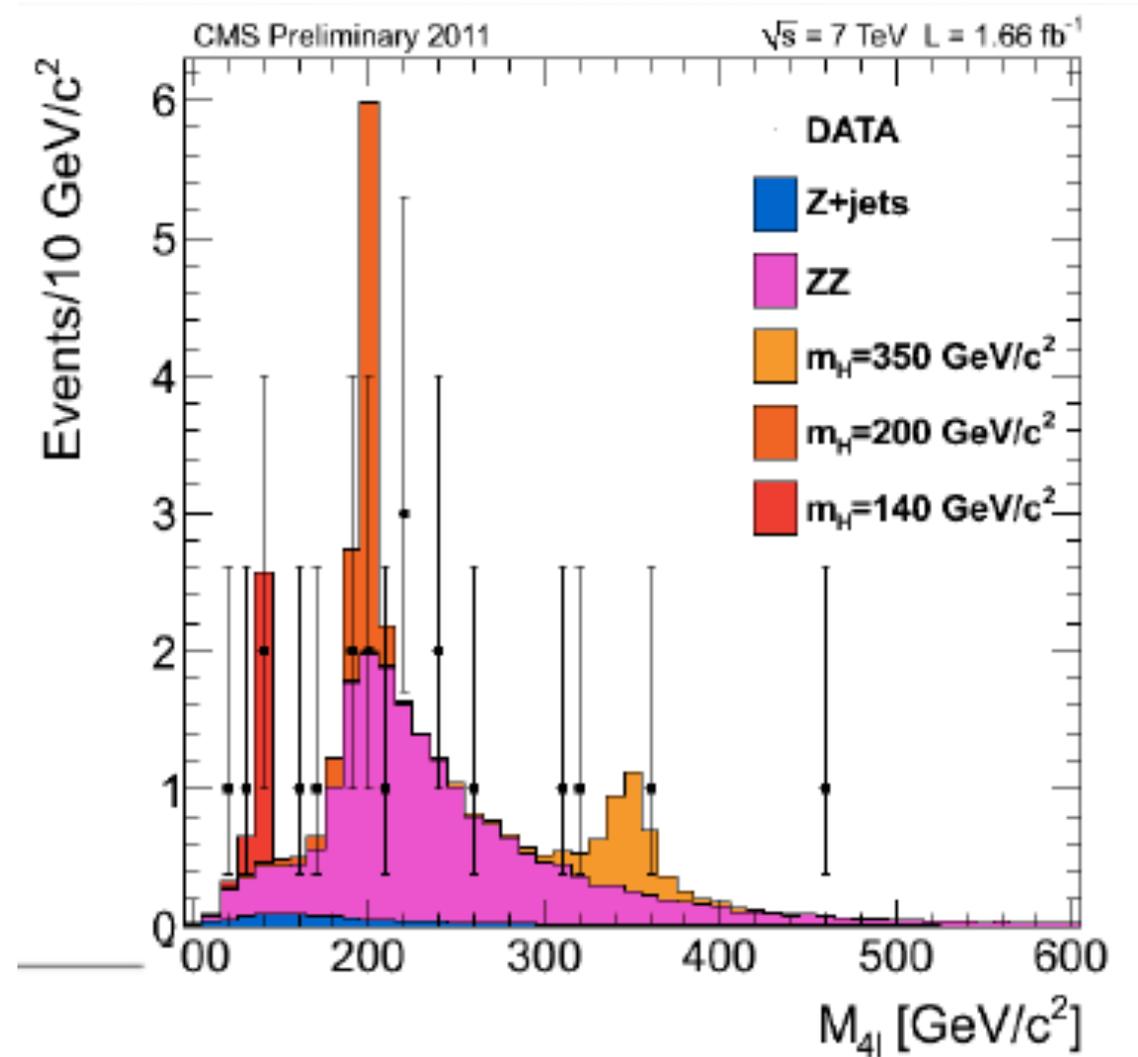
### Correction FSR:

- $m_{Z_1} = 93.36 \text{ GeV}/c^2$
- $m_{Z_2} = 29.67 \text{ GeV}/c^2$
- $m_{4l} = 133.69 \text{ GeV}/c^2$



## V. Application sur les données ( $1.6 \text{ fb}^{-1}$ )

L'algorithme de récupération de photons de radiation dans l'état final dans le spectre de masse  $M_{4l}$  permet d'en donner une autre interprétation : voir les migrations impliquées par les corrections et les éventuelles accumulations qui en résultent



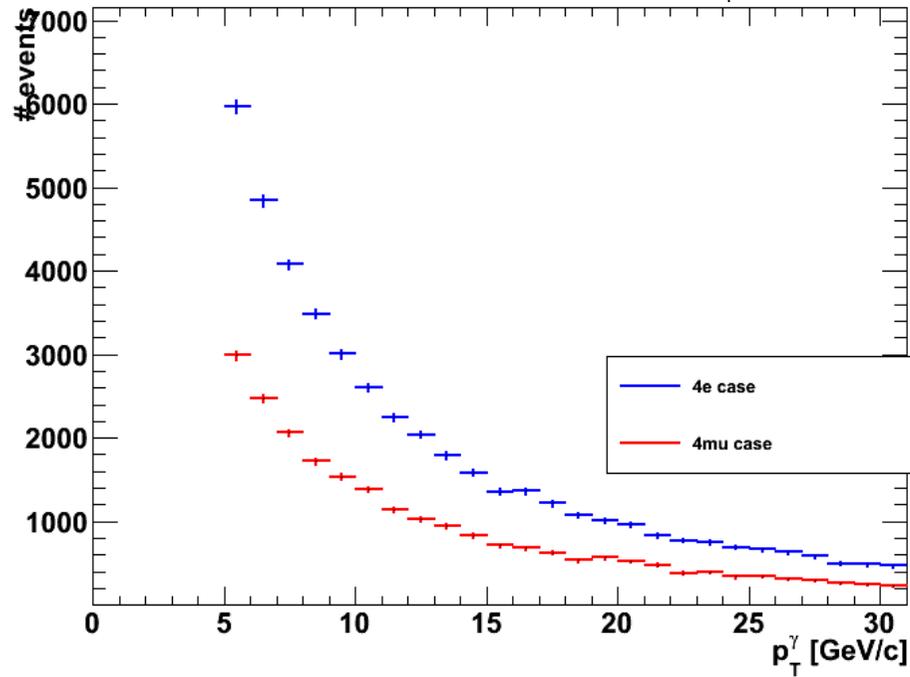
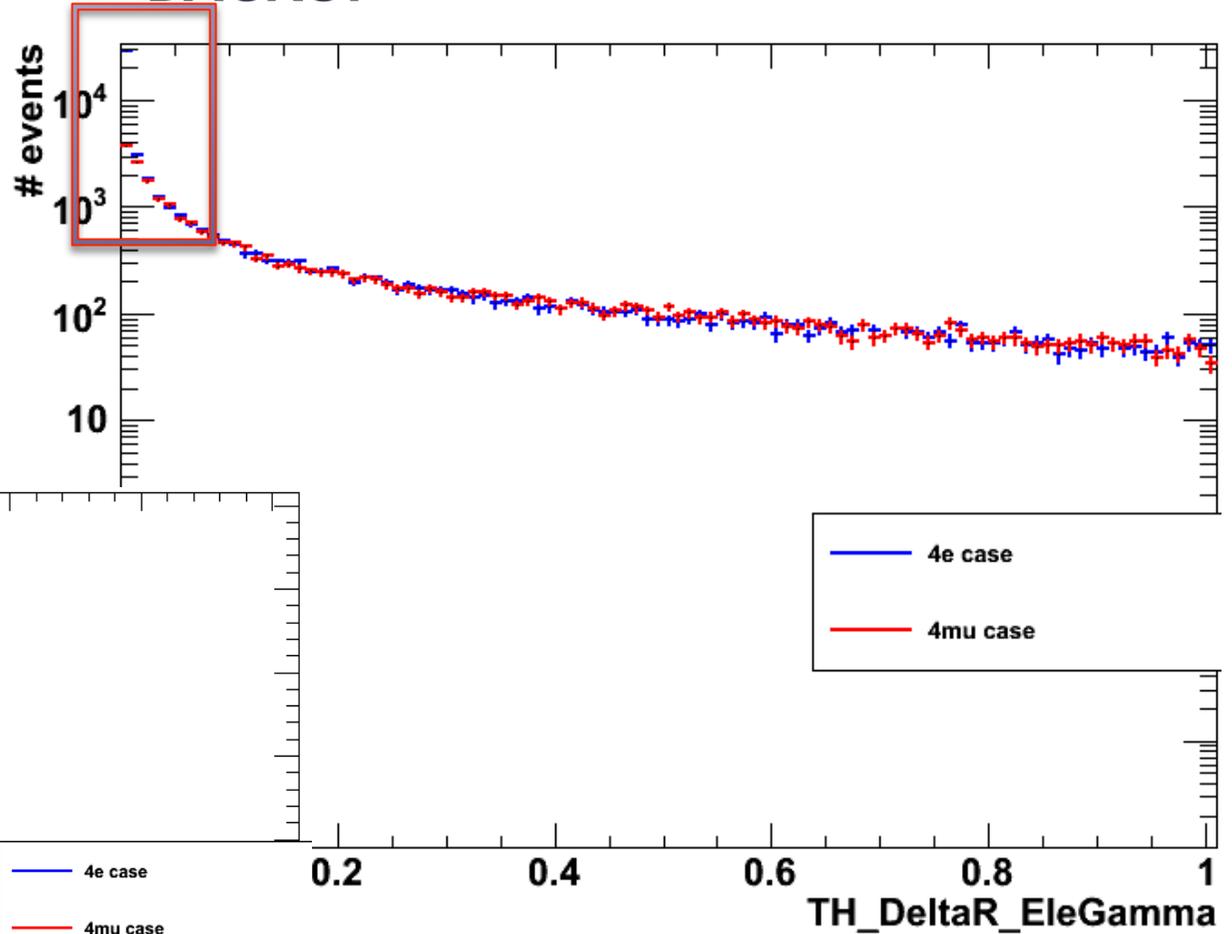
## Conclusion

- L'algorithme de récupération de photons de radiation dans l'état final
  - permet de donner une interprétation différente du spectre de masse  $4l$  : voir les migrations impliquées par les corrections et les éventuelles accumulations qui en résultent. L'interprétation dépend de la pureté qui dépend elle-même du pile-up.
  - Doit assurer un compromis correction/pureté
- Perspectives:
  - Amélioration possible des coupures (TkIso)
  - Relâcher l'isolation ECAL
    - Développer l'algorithme dans une zone riche en candidat FSR
    - Obtenir de nouveaux candidats  $4l$
    - Vérifier/contrôler l'effet sur le bruit de fond

# BACKUP

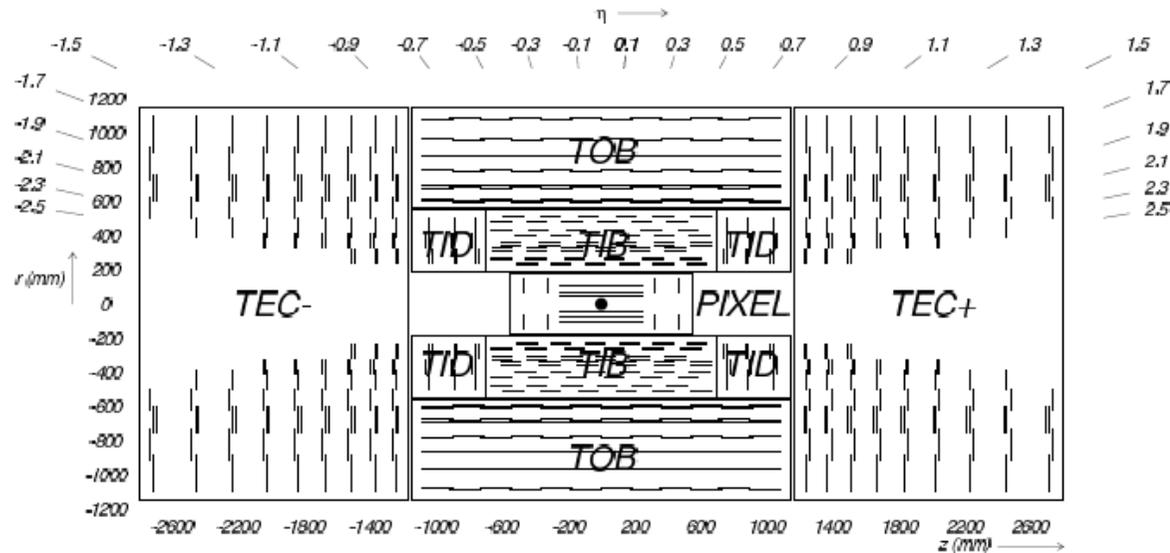
Comparaison des photons  
FSR :

- Cas 4 électrons
- Cas 4 muons



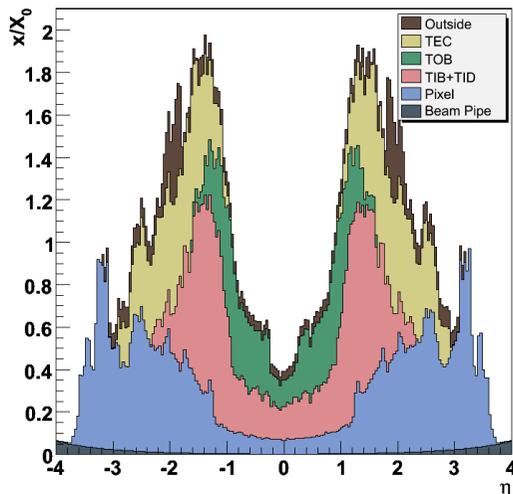
# BACKUP

## • Le trajectographe

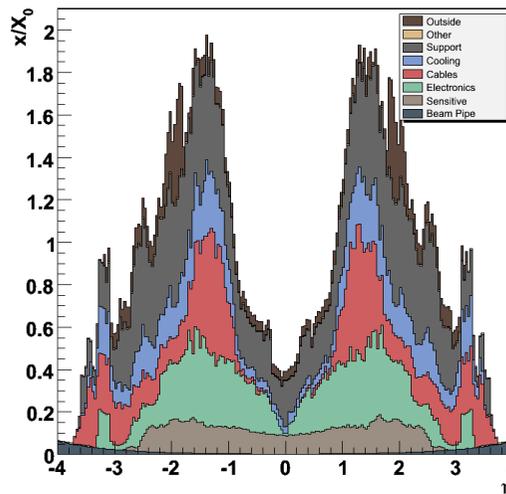


**Trace** = points d'impact reconstruits (« hits ») dans chaque couche du détecteur

Tracker Material Budget



Tracker Material Budget

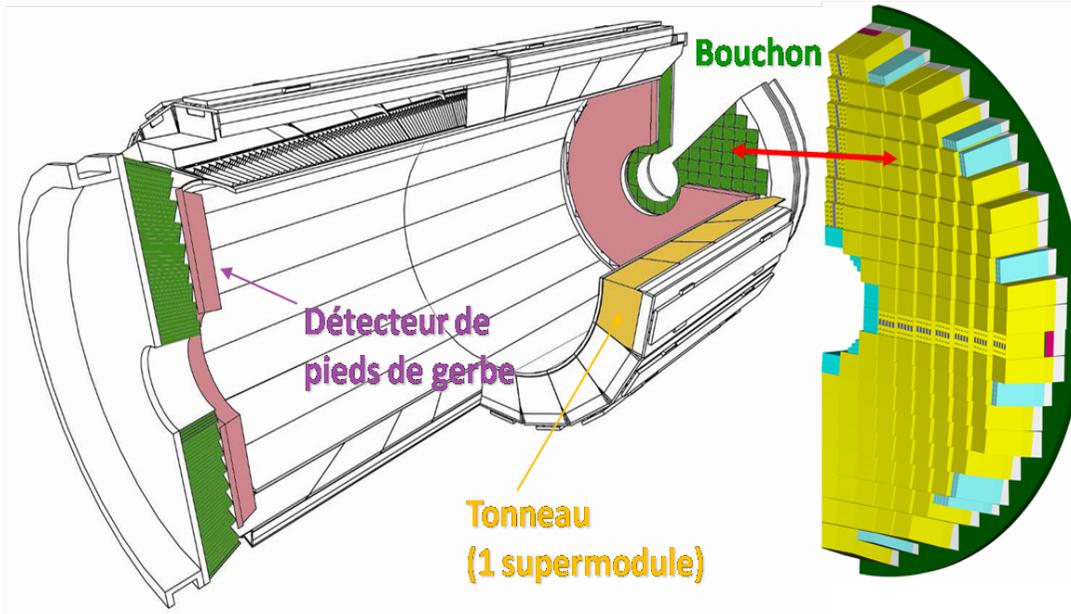


## Éléments perturbant les mesures:

- absence de matériaux actifs → zone de crack ( $\eta=0$  et  $\eta=\pm 1,5$ ) [idem pour ECAL]
- présence de matériaux non sensibles (circuits électriques...)
- perte d'énergie par rayonnement de freinage

## BACKUP

### • Le calorimètre électromagnétique (ECAL)

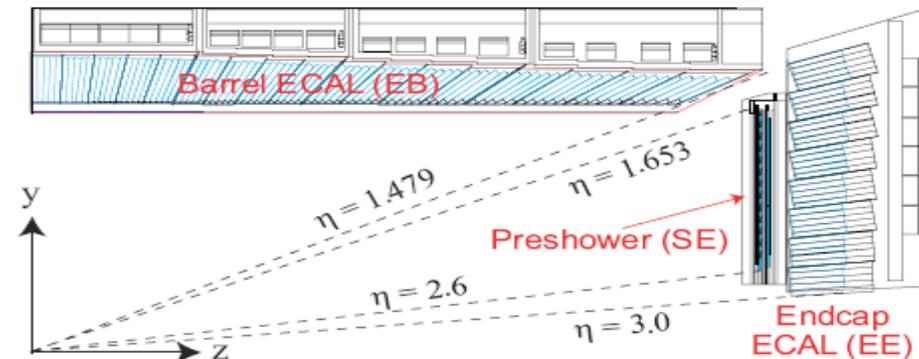


**Gerbe électromagnétique:**  
Agrégats de cristaux du ECAL activés

**Super-agrégat:**

- agrégat dépassant un seuil en énergie = agrégat électron
- regroupement des agrégats voisins collectés suivant une fenêtre de prospection optimisée pour collecter les photons de brem.

- Barrel = tonneau
- Preshower = détecteur de pied de gerbes
- Endcaps = bouchons
- Architecture différente → algorithmes de reconstruction des agrégats différents



# BACKUP