



# Recherche de modèles supersymétriques dans le canal Tau au sein de l'expérience CMS au LHC

David BODIN, IPHC Strasbourg  
Présentation pour les journées jeunes chercheurs  
2010



- **Introduction**
  
- **Le LHC et le détecteur CMS**
  
- **La phénoménologie en physique des particules expérimentale**
  - Le modèle standard
  - Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques
  
- **Les jets hadroniques de Tau**
  - Caractéristiques
  - Les méthodes d'identification
  
- **Le contrôle du signal Tau**
  - Le bruit de fond et sa rejection
  - La mise en évidence du signal
  - Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau
  
- **Conclusion**



- **Introduction**
  
- **Le LHC et le détecteur CMS**
  
- **La phénoménologie en physique des particules expérimentale**
  - Le modèle standard
  - Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques
  
- **Les jets hadroniques de Tau**
  - Caractéristiques
  - Les méthodes d'identification
  
- **Le contrôle du signal Tau**
  - Le bruit de fond et sa rejection
  - La mise en évidence du signal
  - Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau
  
- **Conclusion**



# Introduction



Le “Large Hadron Collider” à été conçu et construit pour sonder la nouvelle physique, au-delà du Modèle Standard. L’un de ces modèles d’intérêt est la SuperSYmmetry (SUSY) qui pourrait être découvert au LHC.

Pour certains modèles supersymétriques (mSUGRA a large  $\tan\beta$  par exemple), les leptons produits dans les chaînes de désintégration des sparticles (nouvelles particules prédites par les modèles SUSY) sont des taus, on peut donc rechercher SUSY:

- En observant un excès de taus comparé à tous les autres processus connus.
- En reconstruisant les masses invariantes des hypothétiques sparticles en utilisant les jets de taus et de quarks.

La luminosité intégrée pour le LHC sera au mieux  $1 \text{ fb}^{-1}$  à la fin de 2011, et cela sera insuffisant pour des analyses SUSY détaillées avec des leptons tau. Mais cette quantité de données est plus que suffisante pour trouver des taus de processus connus (i.e. du Modèle Standard, comme la production de W et Z.)



- **Introduction**

- **Le LHC et le détecteur CMS**

- **La phénoménologie en physique des particules expérimentale**

- Le modèle standard

- Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques

- **Les jets hadroniques de Tau**

- Caractéristiques

- Les méthodes d'identification

- **Le contrôle du signal Tau**

- Le bruit de fond et sa rejection

- La mise en évidence du signal

- Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau

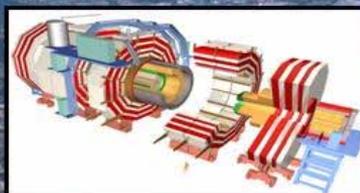
- **Conclusion**

# Le LHC et le détecteur CMS

LHC

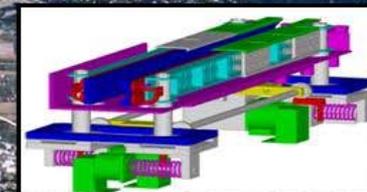


CMS



t  
o  
t  
e  
m

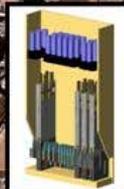
MoEDAL



ALICE



L  
H  
C  
f



ATLAS



LHCb



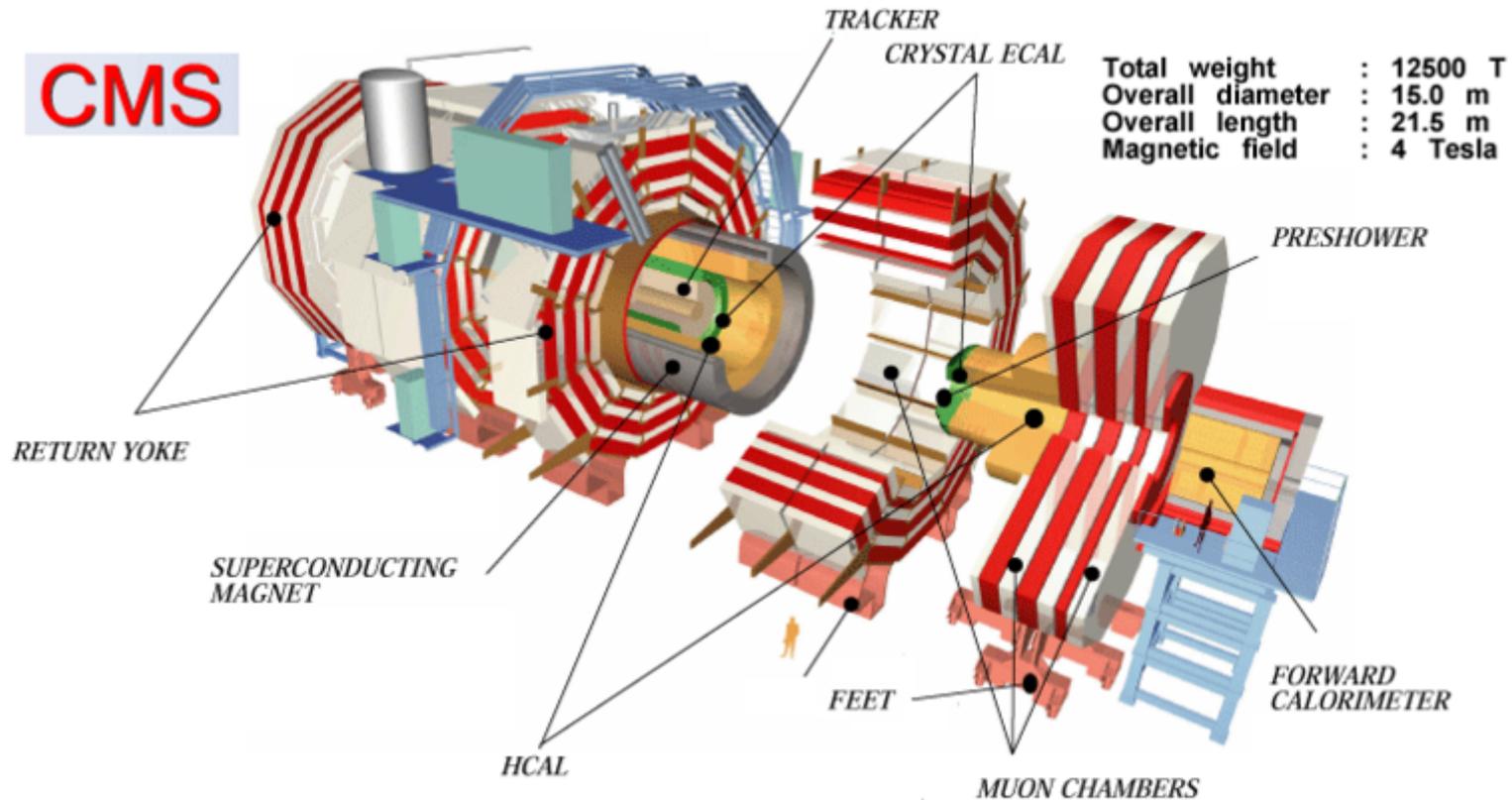
# Le LHC et le détecteur CMS

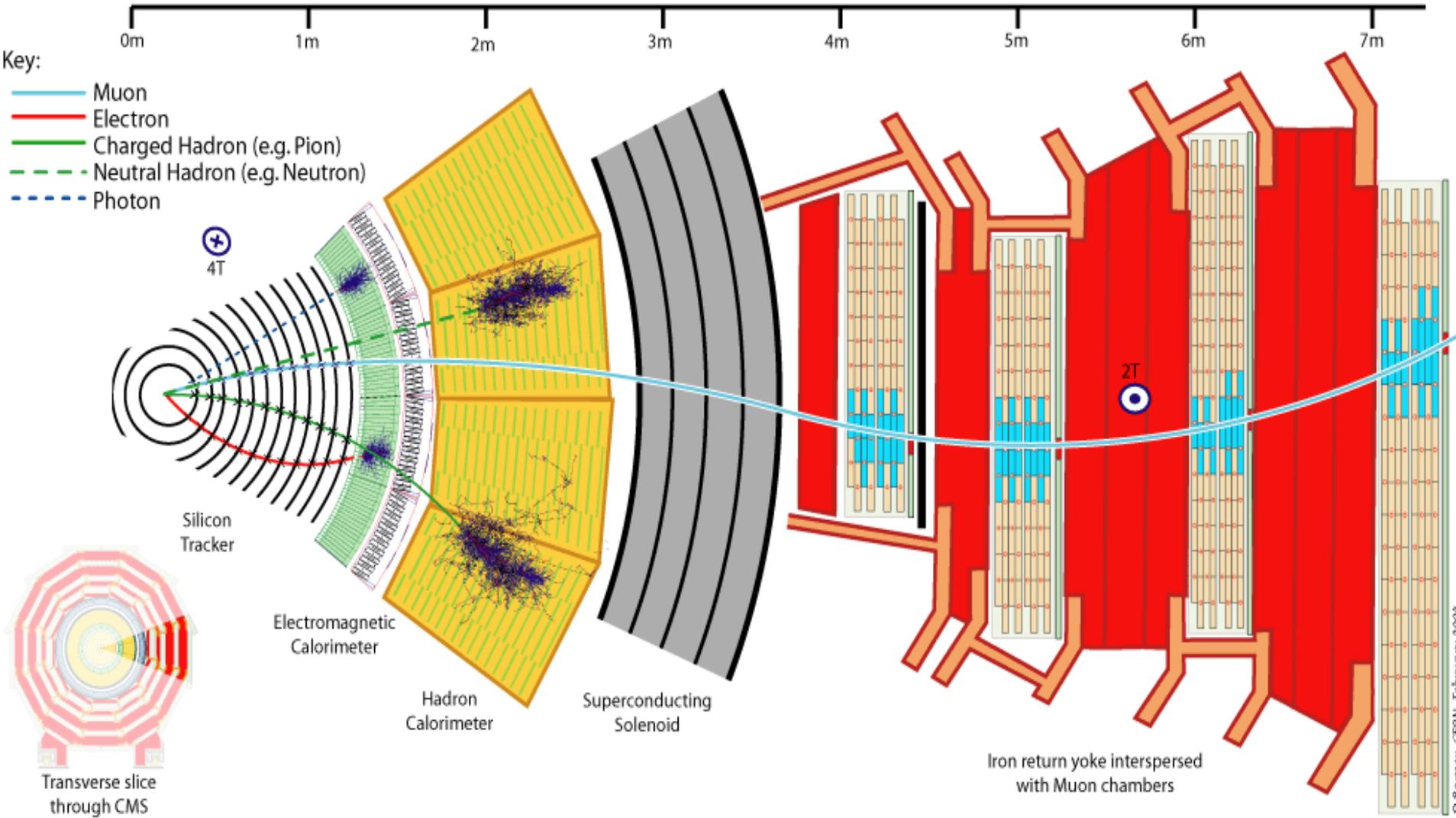


## Caractéristiques du LHC :

- 27 km de circonférence
- Une énergie de 14 TeV (prévisionnelle), 7 TeV (effective) dans le centre de masse
- Luminosité prévisionnelle de  $10^{-34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , luminosité intégrée délivrée jusqu'à présent dans CMS :  $\sim 40\text{ pb}^{-1}$
- Collaboration internationale de 80 pays et 580 universités
- 6 expériences en cours

- **Caractéristiques de CMS**





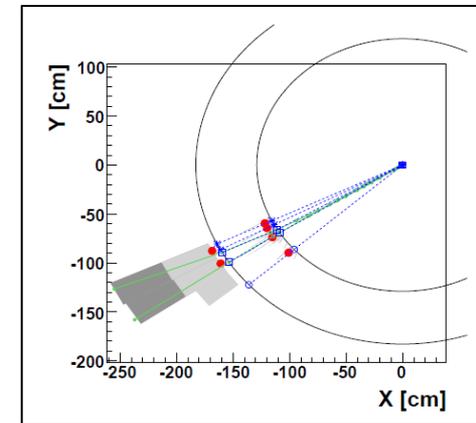
- Environnement

- Toutes les analyses se font avec CMS SoftWare (CMSSW), un environnement C++ crée pour les analyses CMS

- Pour reconstruire les évènement, on utilise l'algorithme Particle Flow qui relie les impacts dans les différents calorimètres aux traces dans le trajectographe. Ceci permet d'améliorer la précision sur les mesures de variables cinématiques.

- Les analyses se font interactivement si elle sont courtes ou bien par la GRID (en utilisant CRAB), la grille de calcul développées pour les mesures a grande échelle.

- Enfin, toutes les courbes et graphiques se font par ROOT, un logiciel bien connu des physiciens des particules

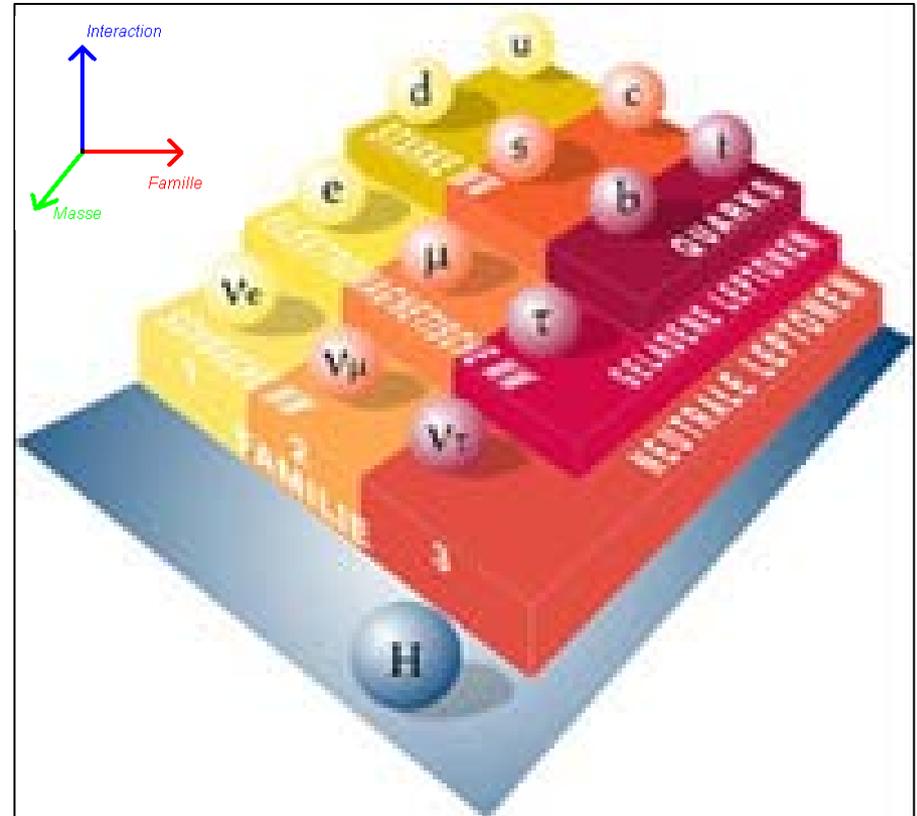
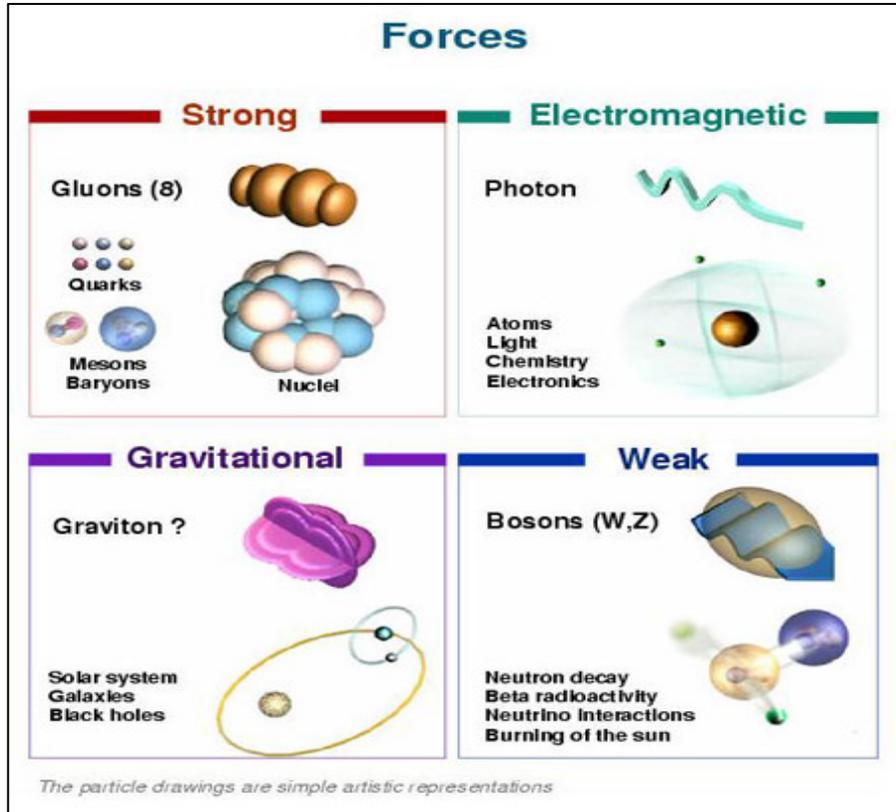


*Jet in PFlow*



- **Introduction**
- **Le LHC et le détecteur CMS**
- **La phénoménologie en physique des particules expérimentale**
  - Le modèle standard
  - Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques
- **Les jets hadroniques de Tau**
  - Caractéristiques
  - Les méthodes d'identification
- **Le contrôle du signal Tau**
  - Le bruit de fond et sa rejection
  - La mise en évidence du signal
  - Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau
- **Conclusion**

- Le modèle standard en physique des particules



Particules composites : hadrons composés de 2 (mésons) ou 3 (baryons) quarks.

→ Il existe aussi pour tous les fermions son antiparticule (pour les bosons non excepté le W)

## Carte d'identité du Tau

Gender : Lepton

“Birth” year : 1975

“Birth” place : SLAC, Standford, California

Mass : 1.777 GeV

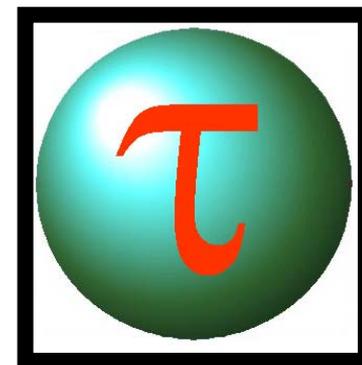
Properties :

- Submitted to weak and electromagnetic interactions
- Has a short lifetime :  $(290.6 \pm 1.0) \cdot 10^{-15}$  seconds

$L > c\tau\gamma$  at 20 GeV : 871.1  $\mu\text{m}$

- Branching ratios :
  - 17.85%  $e\nu_e\nu_\tau$ ,
  - 17.36%  $\mu\nu_\mu\nu_\tau$ ,
  - 64,79% hadrons

- Hadrons tend to give a narrow jet due to its small mass (when  $P_T \gg m_\tau$ )



Decay Mode	Branching ratio(%)
$\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau$	11.6 %
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \nu_\tau$	26.0 %
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \pi^0 \nu_\tau$	10.8 %
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \nu_\tau$	9.8 %
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \pi^0 \nu_\tau$	4.8 %
Total	63.1%
Other hadronic modes	1.7%

## ● Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques :

Supersymétrie : Modèle théorique introduisant une nouvelle symétrie entre fermions et bosons, prédisant une superpartenaire pour chaque particule du modèle standard

Modèle populaire chez les physiciens car :

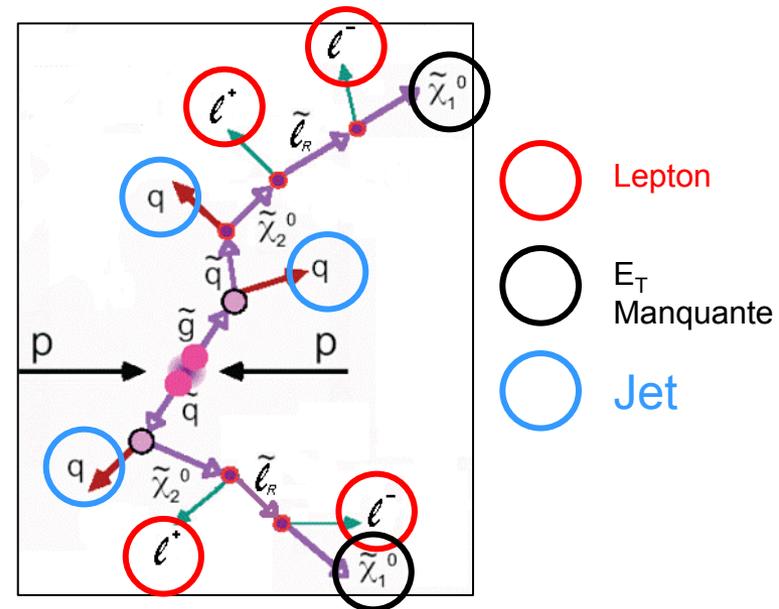
- Il inclut la masse (extension de la théorie de Higgs)
- Il inclut la gravité (modèle mSUGRA)
- Il fournit un candidat à la matière noire (la particule la plus légère de ce modèle est stable, massive et interagit très peu avec la matière)

### Et expérimentalement ?

Section efficace de production calculée pour SUSY LM2 à 10 TeV : 2.4 pb

=> 169 paires de taus attendues pour 1 fb<sup>-1</sup> de données (avant coupure)

Valeur déterminée par Yoshinari Mikami - IPHC

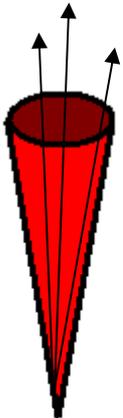
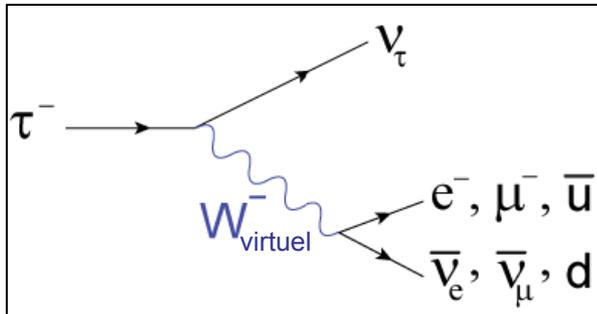


Un évènement SUSY avec 4 leptons dans l'état final (production squark-gluino).

- **Introduction**
- **Le LHC et le détecteur CMS**
- **La phénoménologie en physique des particules expérimentale**
  - Le modèle standard
  - Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques
- **Les jets hadroniques de Tau**
  - Caractéristiques
  - Les méthodes d'identification
- **Le contrôle du signal Tau**
  - Le bruit de fond et sa rejection
  - La mise en évidence du signal
  - Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau
- **Conclusion**

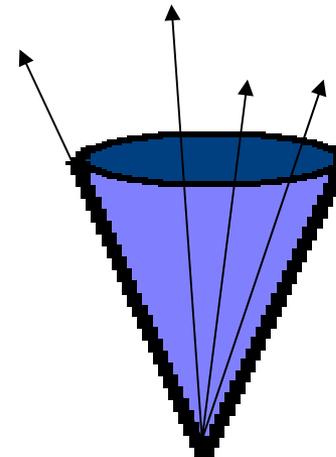
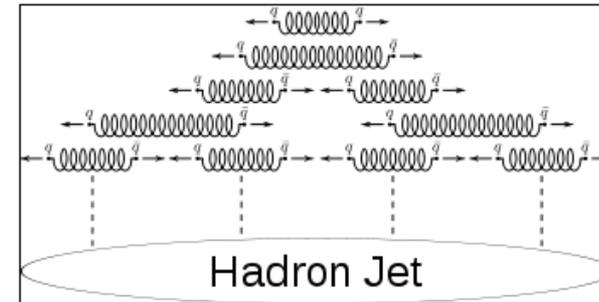
- Caractéristiques : Tau VS quark

Tau



Jet étroit

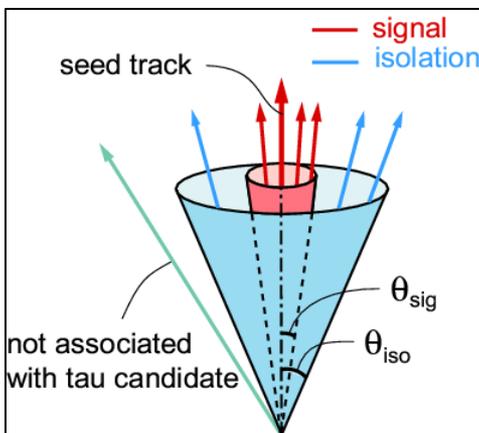
Quark



Jet large

## Méthode d'identification du tau : identification géométrique

Principe : Les candidats tau sont acceptés si ils passent certains critères (coupures). Notamment des critères d'étrouiture et d'isolation (jet bien séparé d'autres particules secondaires)



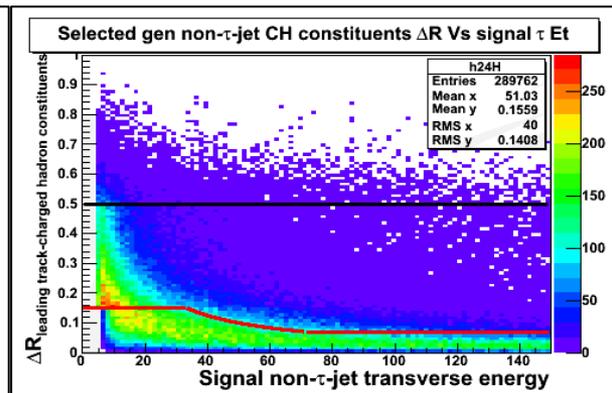
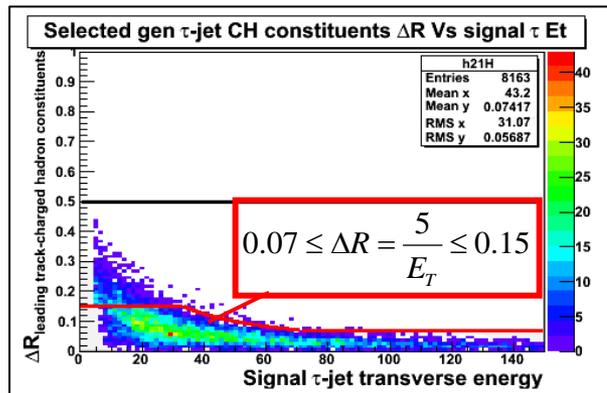
Pour appliquer l'identification, on considère d'abord les jets reconstruits comme potentiels jets de tau. Ensuite on recherche une trace « graine » de  $P_T > 5$  GeV et proche de l'axe du jet  $\Delta R < 0.1$ ,

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

Enfin on demande que tous les constituants soient dans un cône signal qui peut être de taille constante ou variable

Un candidat Tau est rejeté si un hadron chargé ou un photon au dessus d'un certain seuil de  $P_T$  est dans l'anneau d'isolation.

*Ci-contre : exemple montrant la caractéristique des jets Tau par rapport aux autres, et la motivation pour l'utilisation d'un cône de taille variable*



**Il existe des critères d'identification supplémentaires pour raffiner la mesure**



- **Introduction**
- **Le LHC et le détecteur CMS**
- **La phénoménologie en physique des particules expérimentale**
  - Le modèle standard
  - Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques
- **Les jets hadroniques de Tau**
  - Caractéristiques
  - Les méthodes d'identification
- **Le contrôle du signal Tau**
  - Le bruit de fond et sa rejection
  - La mise en évidence du signal
  - Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau
- **Conclusion**

- Le bruit de fond et sa rejection : faux candidats

Le bruit de fond des analyses Tau est principalement causé par les jets hadroniques de quarks, on en rejette la majeure partie grâce a des méthodes d'identification (identification géométrique par exemple).

Il subsiste cependant un certains nombre jet de quarks qui passent la sélection demandée (1% mais le LHC étant une machine hadronique, les jets de quarks sont extrêmement nombreux)

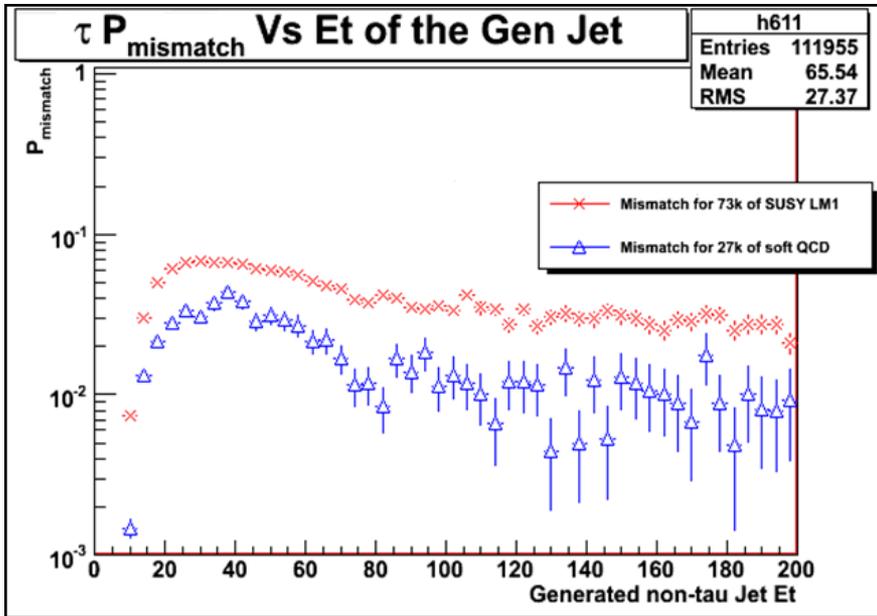
Une méthode d'estimation du bruit de fond à été développée, en se basant sur la probabilité qu'a un jet aux caractéristiques données (3 paramètres :  $P_T$ ,  $\eta$ , et  $R_{jet}$  où  $R_{jet}$  est une mesure statistique de la largeur du jet (écart type pondéré de la distance entre les constituants du jet et la trace « graine »).

→ On obtient ainsi un poids à appliquer a chaque candidat ayant des caractéristiques données.

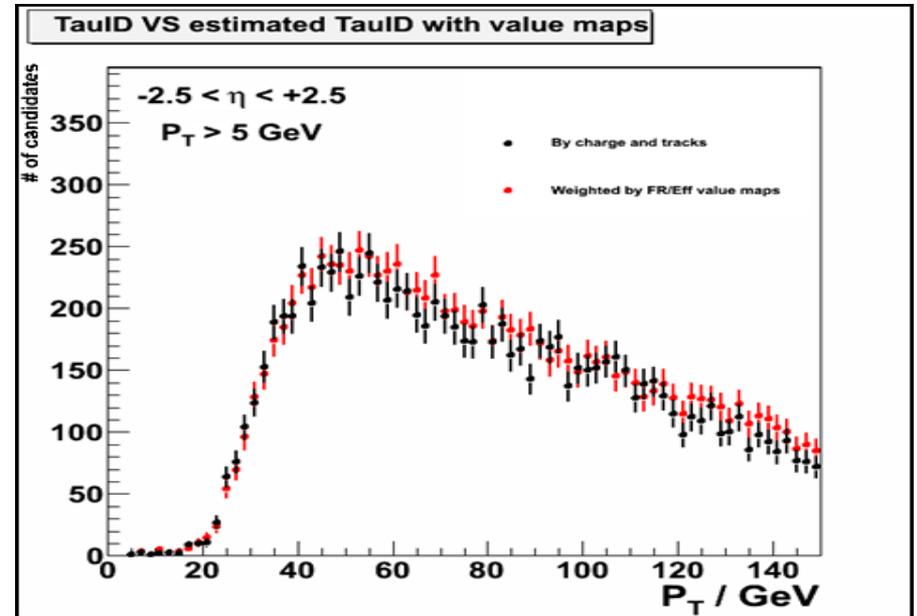
- Bruit de fond : Vrai taus produit par le modèle standard

Dépendant du processus, il faut sélectionner les événements

# Le contrôle du signal Tau



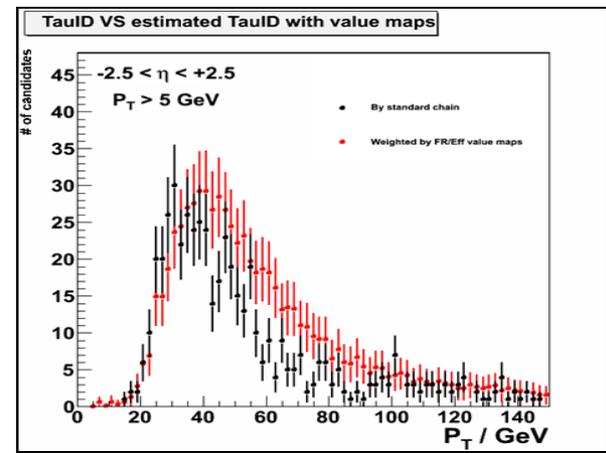
Ratio de fausses identification  
(QCD et SUSY)



Noir : Spectre en  $P_T$  des jets QCD ayant passé la sélection

Rouge : Idem avec les candidats x poids évalué

MAIS !!!

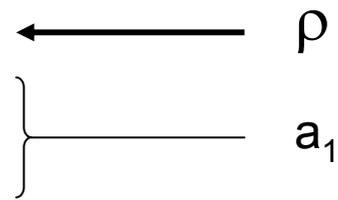


- La mise en évidence du signal

Le pic de tau dans le spectre des masse invariante est large, car lorsque cette particule se désintègre hadroniquement, un neutrino tau est aussi obtenu dans l'état final

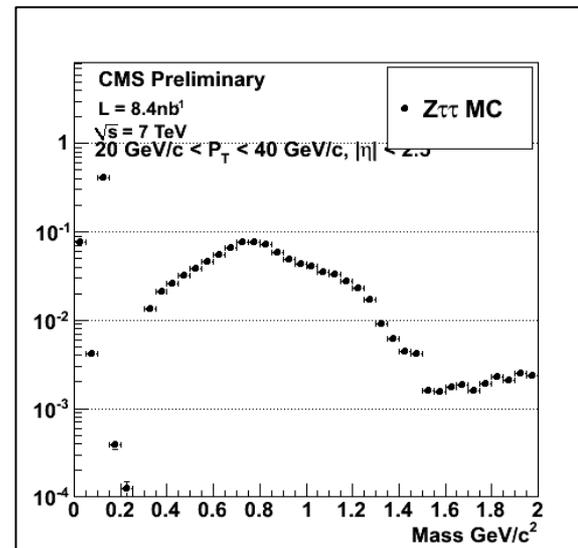
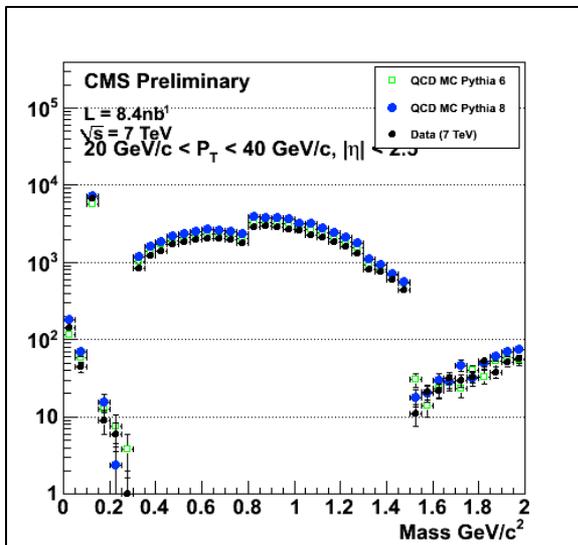
On peut néanmoins observer un surplus des produits de désintégration en ne considérant que les canaux Tau les plus fréquents

Decay Mode	Branching ratio(%)
$\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau$	11.6 %
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \nu_\tau$	26.0 %
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \pi^0 \nu_\tau$	10.8 %
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \nu_\tau$	9.8 %
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \pi^0 \nu_\tau$	4.8 %
Total	63.1%
Other hadronic modes	1.7%

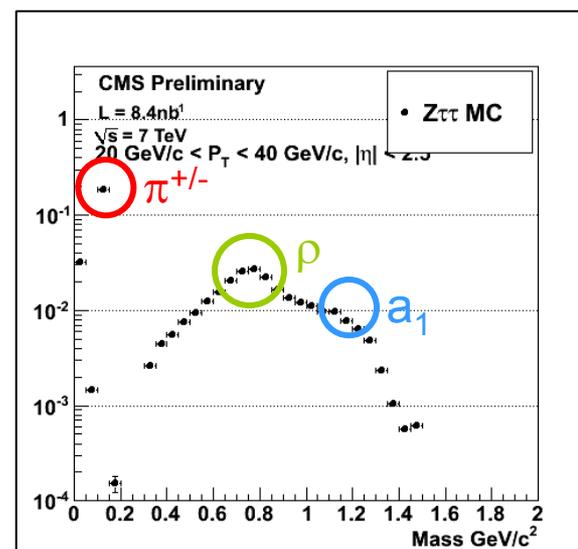
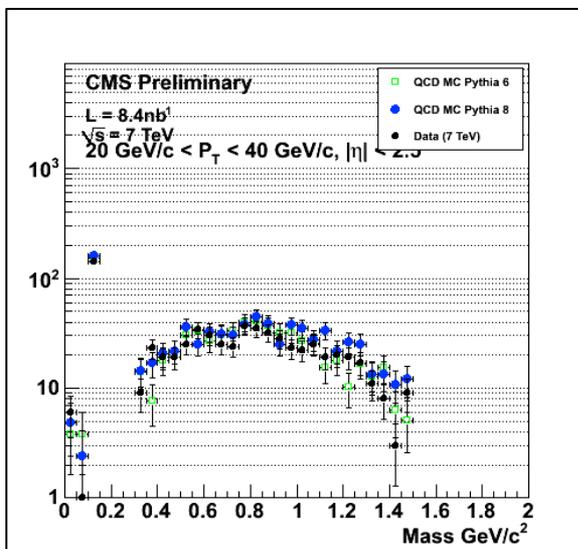


# Le contrôle du signal Tau

No isolation



Tight isolation





# Le contrôle du signal Tau



- Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau

Afin d'étudier la topologie de l'événement, on utilisera des variables globales pour caractériser l'activité de celui-ci

## Variables globales étudiées :

- Energie transverse manquante ( $ME_T$ )
- Somme totale des énergies transverse ( $\Sigma E_T - E_{T,candidate}$ )
- Multiplicité des jets ( $N_{jets} - 1$ )
- Multiplicité des hadrons ( $N_{charged\ hadrons\ in\ event} - N_{charged\ hadrons\ in\ candidate}$ )
- Multiplicité des photons ( $N_{photons\ in\ event} - N_{photons\ in\ candidate}$ )

## Samples :

/Ztautau/Spring10-START3X\_V26\_S09-v1/GEN-SIM-RECO

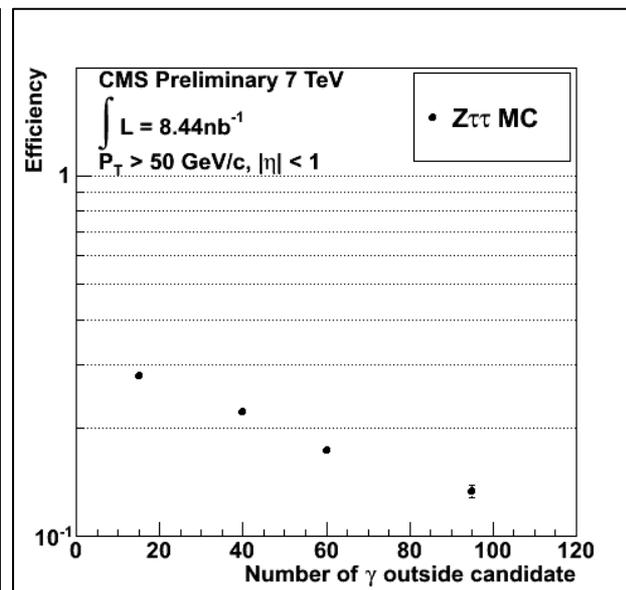
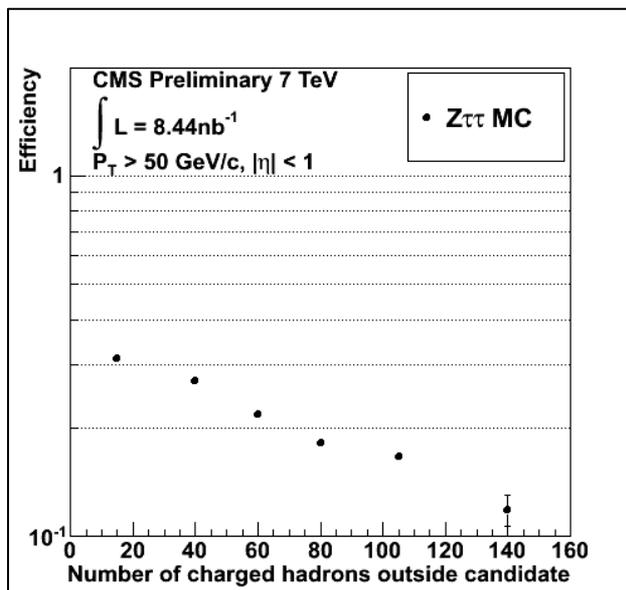
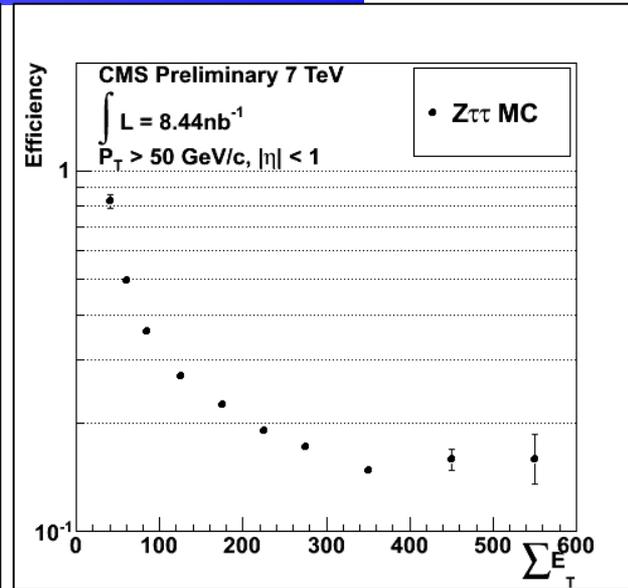
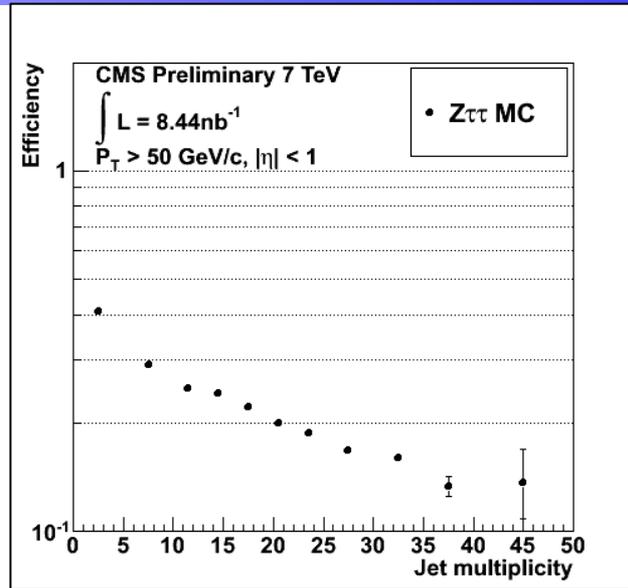
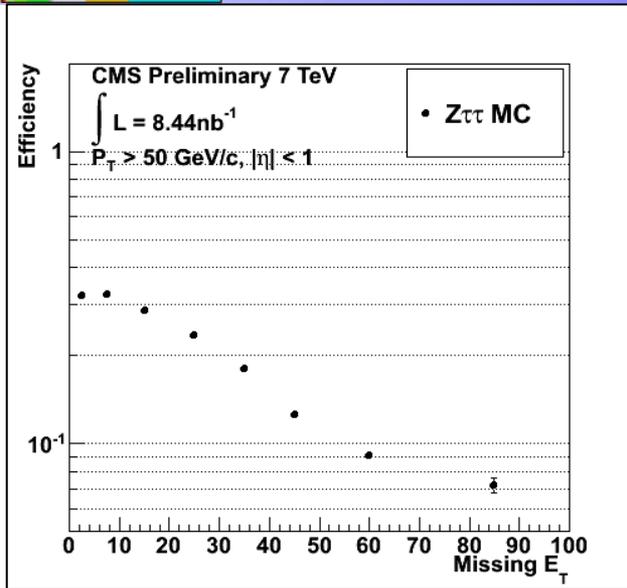
/QCD\_Pt15/Spring10-START3X\_V26\_S09-v1/GEN-SIM-RECO

/QCD\_Pt-15\_7TeV-pythia8/Spring10-START3X\_V26B-v2/GEN-SIM-RECO

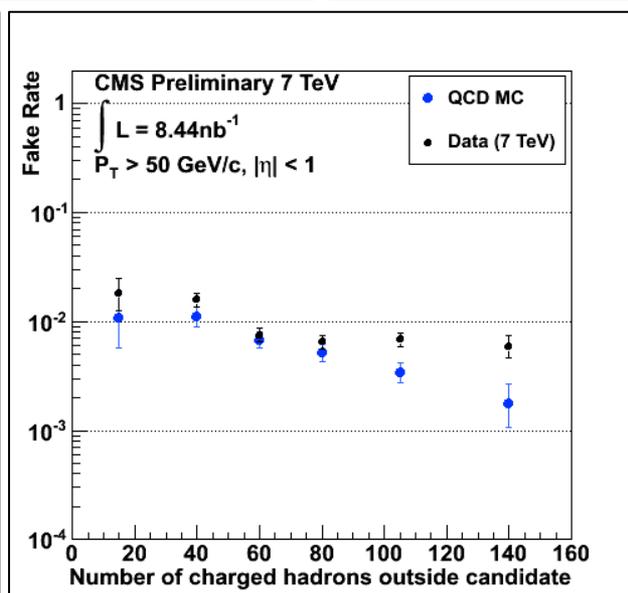
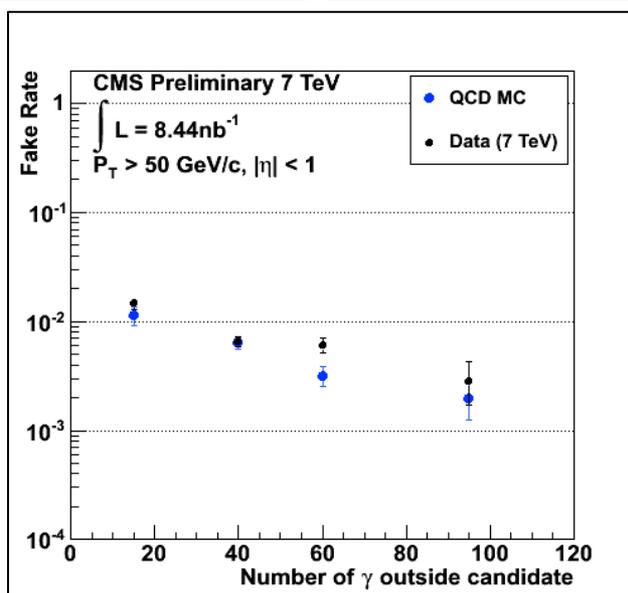
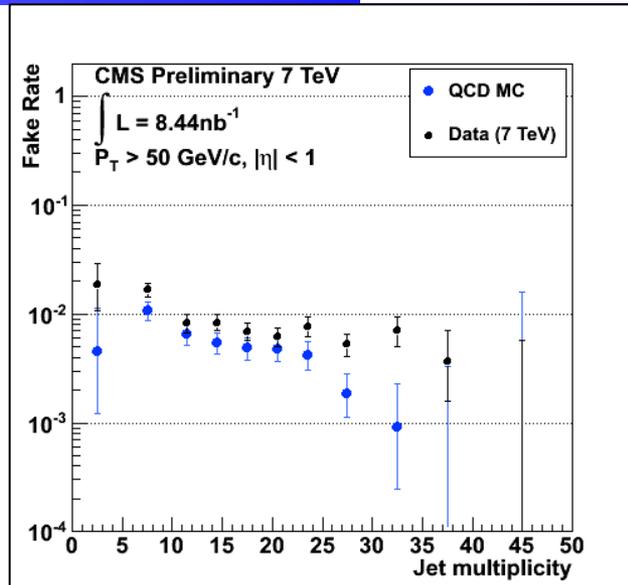
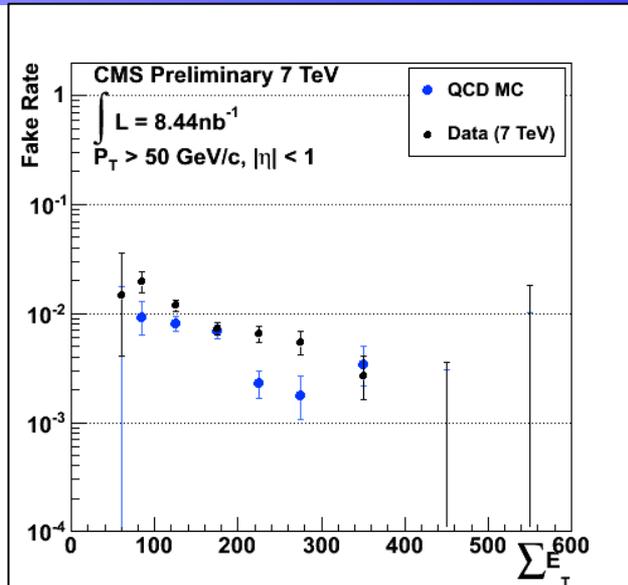
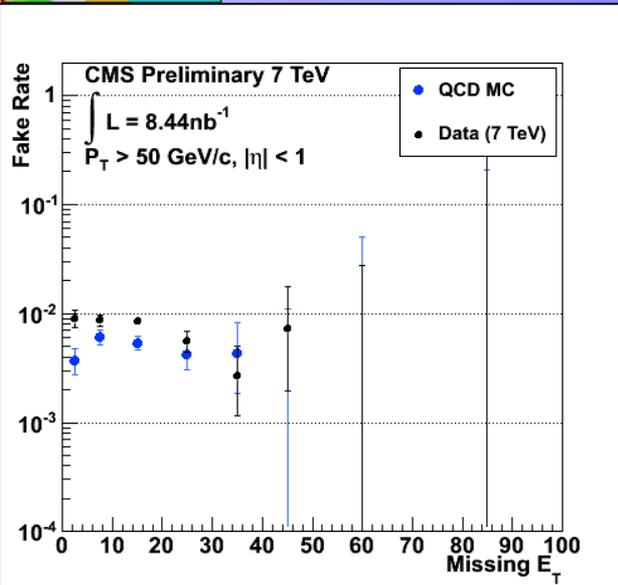
Et les données :

/MinimumBias/Commissioning10-May27thSkim\_SD\_JetMETTau-v2/RECO

# Le contrôle du signal Tau



# Le contrôle du signal Tau





- **Introduction**
  
- **Le LHC et le détecteur CMS**
  
- **La phénoménologie en physique des particules expérimentale**
  - Le modèle standard
  - Le lepton Tau dans les recherches supersymétriques
  
- **Les jets hadroniques de Tau**
  - Caractéristiques
  - Les méthodes d'identification
  
- **Le contrôle du signal Tau**
  - Le bruit de fond et sa rejection
  - La mise en évidence du signal
  - Effet de la topologie de l'événement sur l'identification du lepton Tau
  
- **Conclusion**



# Conclusion



Observer un signal de Tau hadronique est réalisable et à en fait déjà été fait. Cependant, l'observation de ce même signal, et l'utilisation de ces taus comme produit de désintégration de particules SUSY représente un grand défi, du fait de la grande activité de ces évènements.

Les processus du Modèle Standard incluant des taus peuvent, eux, être plus facilement contrôlés, en tant que signal pour une revérification de paramètres connus, ou en tant que bruit de fond pour la nouvelle physique.

Perspectives de recherche :

- Corriger le défaut de la méthode d'estimation du bruit de fond
- Trouver une méthode corrective pour récupérer la perte en efficacité à large activité
- Mesurer les taus des différents processus dans les données délivrées par le LHC

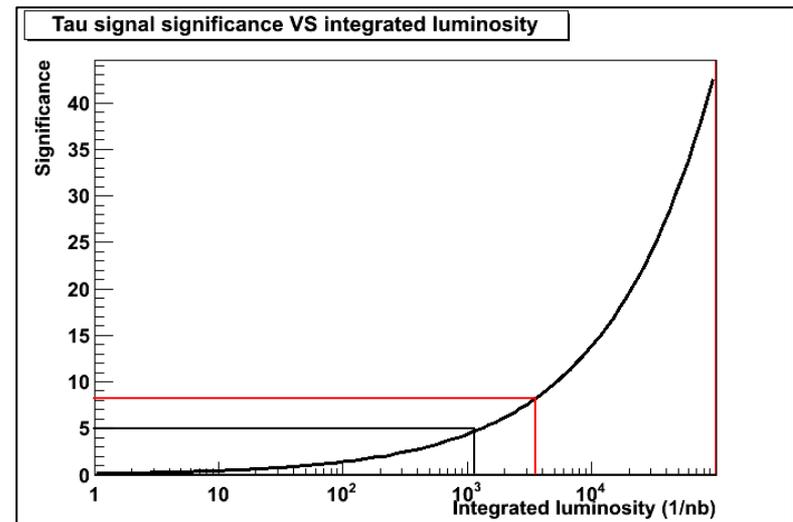
# Backup slides

$$Sig = \frac{S}{\sqrt{B}} = \frac{\int \ell \times (\sigma_W \times BR_{W \rightarrow \tau\nu} \times BR_{\tau \rightarrow hadr} \times \varepsilon_{Tau-ID} + 2 \times \sigma_Z \times BR_{Z \rightarrow \tau\tau} \times BR_{\tau \rightarrow hadr} \times \varepsilon_{Tau-ID})}{\sqrt{\int \ell \times (\sigma_{QCD} \times P_{mismatch})}}$$

$$Sig = \sqrt{\int \ell} \times \underbrace{\frac{BR_{\tau \rightarrow hadr} \times \varepsilon_{Tau-ID} \times (\sigma_W \times BR_{W \rightarrow \tau\nu} + 2 \times \sigma_Z \times BR_{Z \rightarrow \tau\tau})}{\sqrt{\sigma_{QCD} \times P_{mismatch}}}}_{\text{Constant}} = K \sqrt{\int \ell}$$

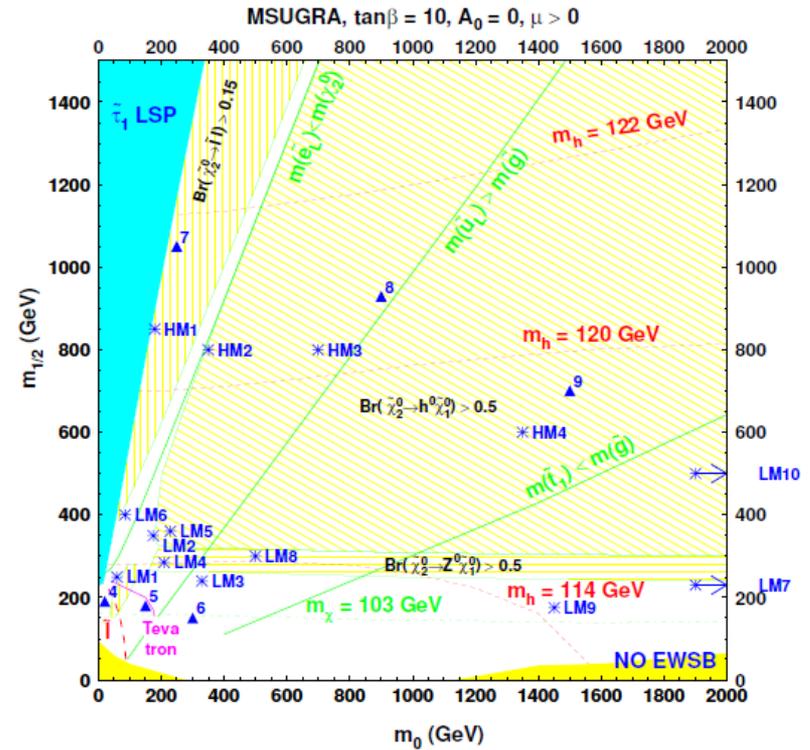
To the right, the tau signal Significance (neglecting BSM processes) vs the delivered integrated luminosity from the LHC. We see that  $1 \text{ pb}^{-1}$  is satisfying to find a tau signal with the shrinking cone algorithm.

LHC already delivered  $3 \text{ pb}^{-1}$  of data, 3 times what is necessary to get a tau signal



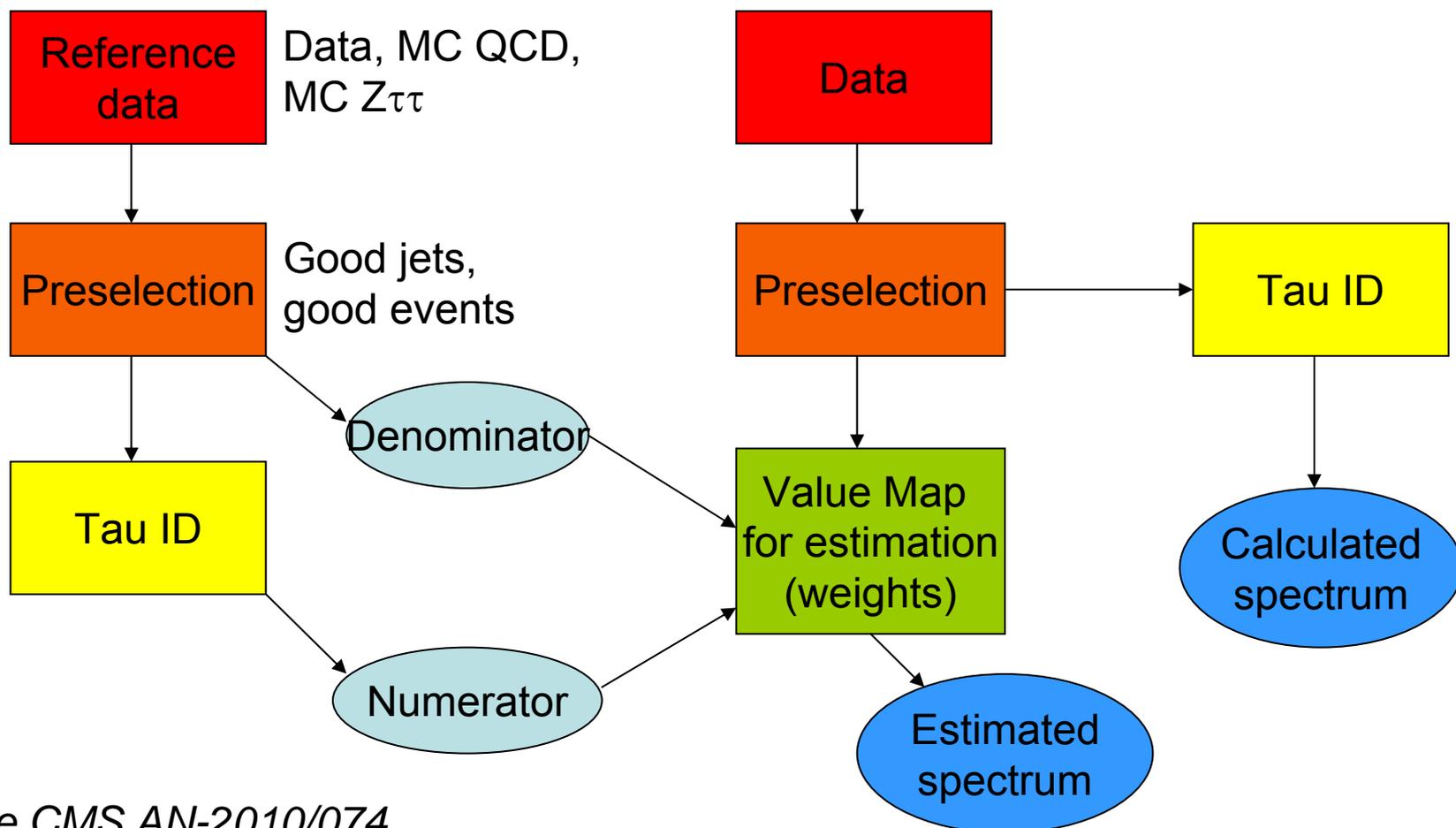
# SUSY Working points

Point	$m_0$	$m_{1/2}$	$\tan \beta$	$\text{sgn}(\mu)$	$A_0$
LM1	60	250	10	+	0
LM2	185	350	35	+	0
LM3	330	240	20	+	0
LM4	210	285	10	+	0
LM5	230	360	10	+	0
LM6	85	400	10	+	0
LM7	3000	230	10	+	0
LM8	500	300	10	+	-300
LM9	1450	175	50	+	0
LM10	3000	500	10	+	0
HM1	180	850	10	+	0
HM2	350	800	35	+	0
HM3	700	800	10	+	0
HM4	1350	600	10	+	0



# Estimation of tau analysis background via Fake-Rate technique

Goal : This technique has been designed to provide a data-driven way of estimating contribution to Tau background from QCD. It is applicable in any analysis in which dominant background contributions comes from quark/gluon misidentification.

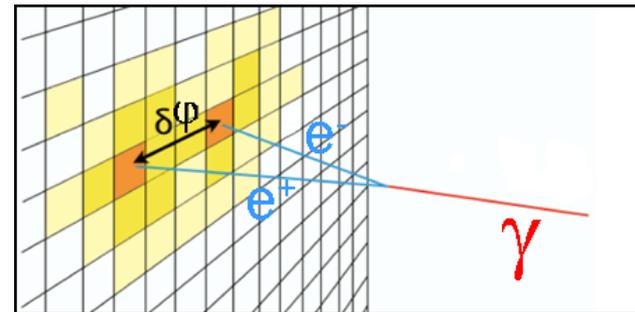


- Hadron+Strips (HPS) algorithm

The Hadron Plus Strips (HPS) algorithm employs cuts on the multiplicity and invariant mass of charged hadrons and neutral pions reconstructed in a narrow cone of size  $DR = 2.8/p_T$ , together with the requirement that there be no other particles of  $p_T$  above a certain threshold within the jet.

The neutral pions are reconstructed using topological criteria which account for photons conversion effects

*Beside, the “strip” used to measure a converted photon, the  $e^+/e^-$  pair gives cluster impacts on a strip.*



- Tau Neural Classifier (TaNC) algorithm

The Tau Neural Classifier (TaNC) algorithm reconstructs neutral pions by combining photon pairs of low invariant mass.

The discrimination between tau hadronic decays and generic QCD jets is based on an ensemble of five neural networks which have been trained to identify a particular hadronic decay mode each.

In order to satisfy the requirements of different physics analyses on tau identification efficiency versus fake-rate, a set of different “working-points” is proposed by the HPS and TaNC algorithms

## ● Modes

1. Single hadron. This signature reconstructs  $\tau^- \rightarrow h\nu_\tau$  decays and  $\tau^- \rightarrow h\pi^0\nu_\tau$  decays in which the neutral pions have too low energy to be reconstructed as strips.
2. One hadron + one strip. This signature aims to reconstruct the decay mode  $\tau^- \rightarrow h\pi^0\nu_\tau$  in events in which the impact position of the photons from  $\pi^0$  decays are close together on the calorimeter surface. The size of the strip in  $f$  direction is large enough to account for the possibility that one or both the photons have converted.
3. One hadron + two strips. This signature aims to reconstruct the decay mode  $\tau^- \rightarrow h\pi^0\nu_\tau$  in events in which the impact positions of photons from  $\pi^0$  decays are well separated on the calorimeter surface.
4. Three hadrons. This signature aims to reconstruct the decay mode  $\tau^- \rightarrow h^+h^-\pi^0\nu_\tau$ . The three charged hadrons are required to have charge sum  $|q| = 1$  and to be refitted to the same secondary vertex, reconstructed by the Kalman vertex fit algorithm.

## ● Isolations

1. Loose isolation: requires no charged hadrons with  $P_T > 1.0\text{GeV}/c$  and no photons with  $E_T > 1.5\text{GeV}$  within the isolation cone
2. Medium isolation: requires no charged hadrons with  $P_T > 0.8\text{GeV}/c$  and no photons with  $E_T > 0.8\text{GeV}$  within the isolation cone
3. Tight isolation: requires no charged hadrons with  $P_T > 0.5\text{GeV}/c$  and no photons of  $E_T > 0.5\text{GeV}$  within the isolation cone.

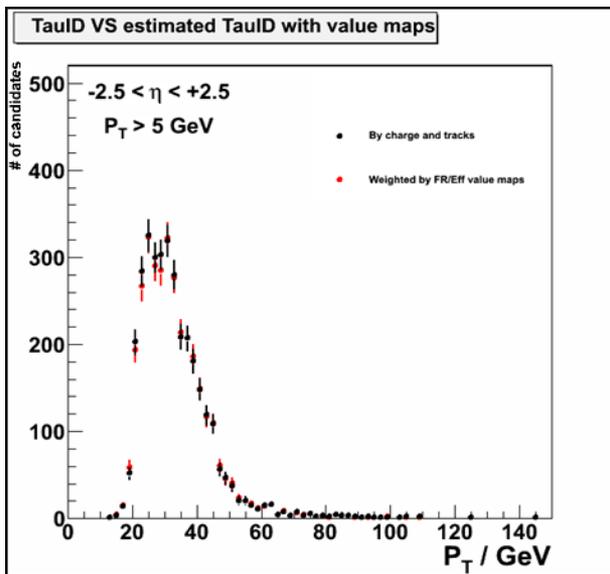
- QCD di-jet selection

The events are required to pass the HLT Jet15U single jet trigger selection. The trigger has a transverse energy threshold of  $ET > 15$  GeV. The energy sum is computed for a window of size  $4 \times 4$  towers in the electromagnetic and hadronic sections of the calorimeter, corresponding to a region of approximately  $0.35 \times 0.35$  in  $h \times f$  space. No energy scale corrections are applied.

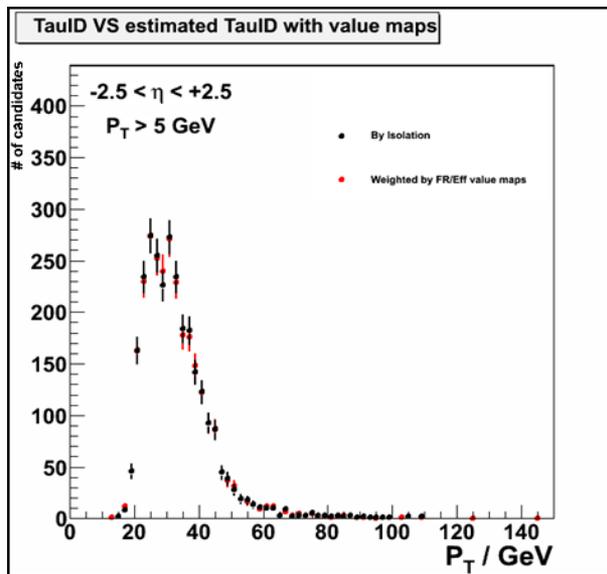
To avoid any bias on jet shape due to trigger requirements, “tag” and “probe” jets are defined. In events in which only one jet fires the single jet trigger the jet firing the trigger is flagged as “tag”. All other jets are flagged as “probe”. The “tag” jet is excluded from the analysis. In events in which two or more jets fire the single jet trigger all jets are flagged as “probe” jets and are included in the analysis.

The selected events are required to have at least two jets of transverse momentum  $P_{T,jet} > 10$  GeV observed within the geometrical acceptance of the tracking detectors,  $|\eta| < 2.5$ . The jets are allowed to be reconstructed either by jet algorithms based on energy deposits in the electromagnetic and hadronic calorimeters or based on particle–flow techniques.

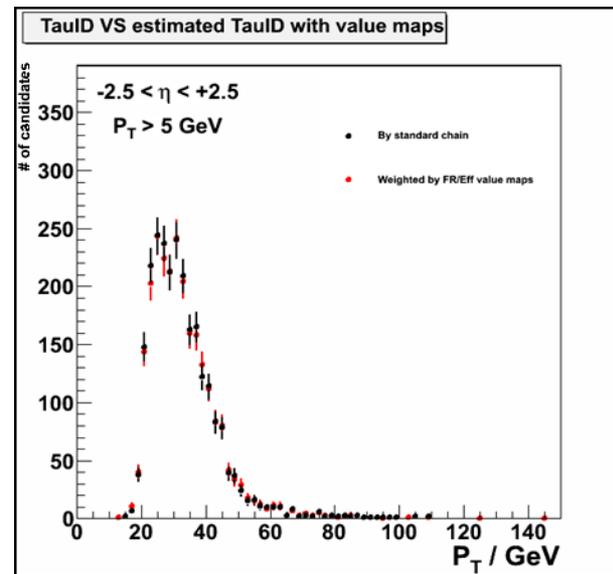
Sample : /ReValZTT/CMSSW\_3\_5\_1-START3X\_V21-v1/GEN-SIM-RECO  
 Signal Estimation method : Shrinking cone algorithm in a  $Z\tau\tau$  sample



By charge and tracks



By track & ECal isolation



By standard chain (charge & tracks + isolation)

Good agreement between estimation of tau signal and bare tau identification when applying this method on a  $Z\rightarrow\tau\tau$  sample, even with the tightest discrimination