

# Recherche de particules supersymétriques avec des leptons $\tau$ dans l'état final de l'expérience CMS.

Thibaut Hennequin

HENNEQUIN Thibaut

Cursus : Ecole Polytechnique

- Cycle ingénieur
- Master PHE (Ecole Polytechnique / ETH Zurich)

Contact pour la thèse :

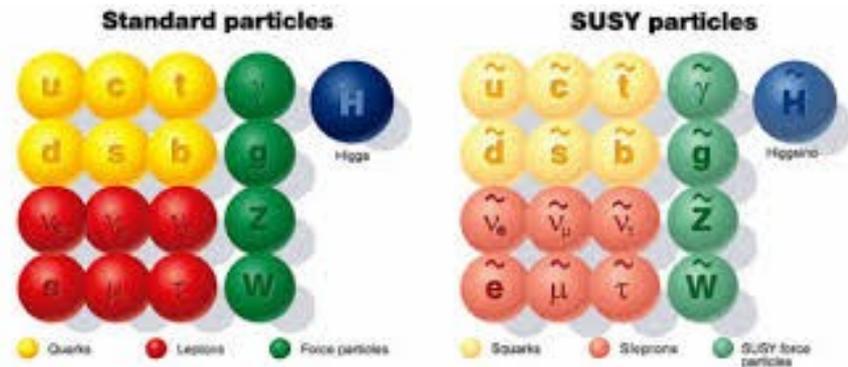
Cours de M2.

Recherche d'une thèse expérimentale en physique des particules, et ayant déjà une expérience sur CMS (stage M1 autour de  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ )

Celle ci semblait intéressante de par le spectre qu'elle offrait, d'une reconstruction des objets complexes, proche du détecteur; jusqu'à la recherche de physique au delà du modèle standard (SM)

- Recherche de particules supersymétriques avec des leptons  $\tau$  dans l'état final de l'expérience CMS.

- Supersymétrie (SUSY)
  - Symétrie bosons/fermions
  - Stabilisation de la masse du boson de higgs
  - Candidat matière noire

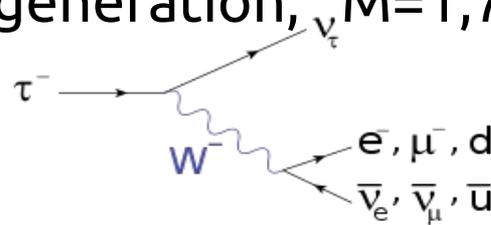


- Recherche higgs dans extension SUSY minimale du SM: MSSM
  - 5 higgs :  $h, H, A, H^\pm$
  - $h \rightarrow \tau\tau$

- Lepton  $\tau$  : lepton de 3ème generation,  $M=1,7 \text{ TeV}$ ,  $\tau_\tau = 280\text{fs}$

- $\tau_{e/\mu} \rightarrow e/\mu + \nu_\tau + \bar{\nu}_{e/\mu}$

- $\tau_h \rightarrow \text{hadrons} + \nu_\tau$



- Le détecteur CMS
- Etudes sur les systèmes de déclenchement (trigger)
  - Généralités
  - Efficacité des systèmes de déclenchement soft lepton +  $\tau_h$
  - Isolation des leptons  $\tau$  au niveau du trigger
- Recherche de  $H \rightarrow hh \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$ 
  - Présentation générale de l'analyse
  - Bruits de fond

# CMS Detector

Pixels  
 Tracker  
 ECAL  
 HCAL  
 Solenoid  
 Steel Yoke  
 Muons

LHC : collision pp

- $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$
- $L = 19,7 \text{ fb}^{-1}$

**STEEL RETURN YOKE**  
~13000 tonnes

**SUPERCONDUCTING SOLENOID**  
Niobium-titanium coil carrying ~18000 A

**HADRON CALORIMETER (HCAL)**  
Brass + plastic scintillator  
~7k channels

**SILICON TRACKER**  
Pixels (100 x 150  $\mu\text{m}^2$ )  
~1m<sup>2</sup> ~66M channels  
Microstrips (80-180 $\mu\text{m}$ )  
~200m<sup>2</sup> ~9.6M channels

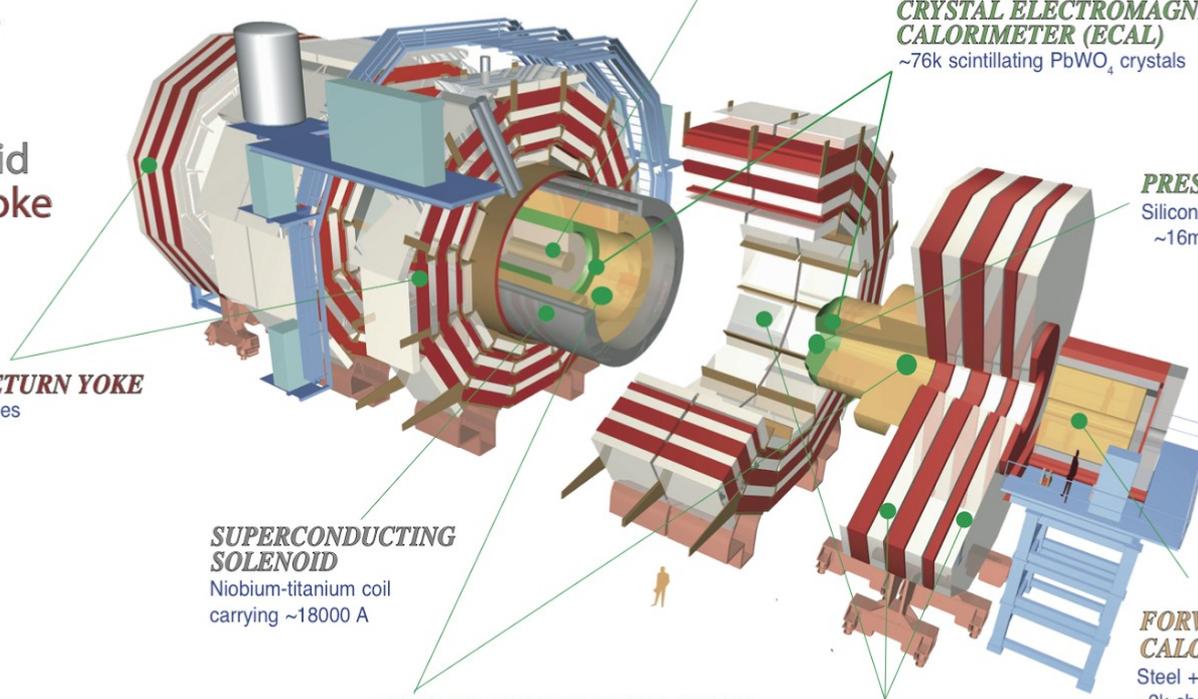
**CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)**  
~76k scintillating PbWO<sub>4</sub> crystals

**PRESHOWER**  
Silicon strips  
~16m<sup>2</sup> ~137k channels

**FORWARD CALORIMETER**  
Steel + quartz fibres  
~2k channels

**MUON CHAMBERS**  
Barrel: 250 Drift Tube & 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip & 432 Resistive Plate Chambers

**Total weight** : 14000 tonnes  
**Overall diameter** : 15.0 m  
**Overall length** : 28.7 m  
**Magnetic field** : 3.8 T

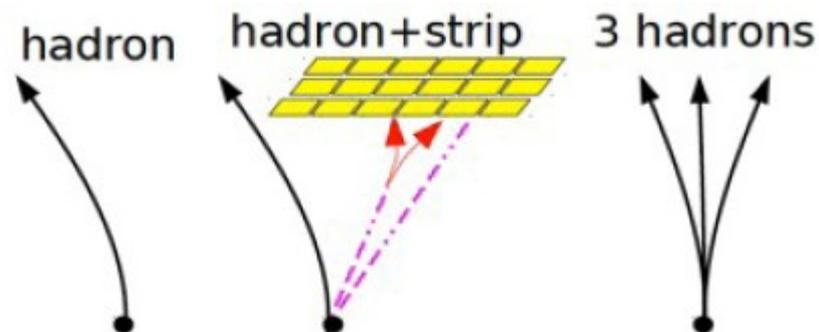


Canal de désintégration	Fraction	Détecteur utilisé
$\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$	17,5 %	ECAL + tracker + MET
$\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$	17,5 %	Muon + tracker + MET
$\tau^- \rightarrow \text{hadrons} + \nu_\tau$	65 %	ECAL + HCAL + tracker + MET

\*  $\nu$  → énergie transverse manquante (MET)

- Algorithme HadronPlusStrip, reposant sur le « flot de particules »

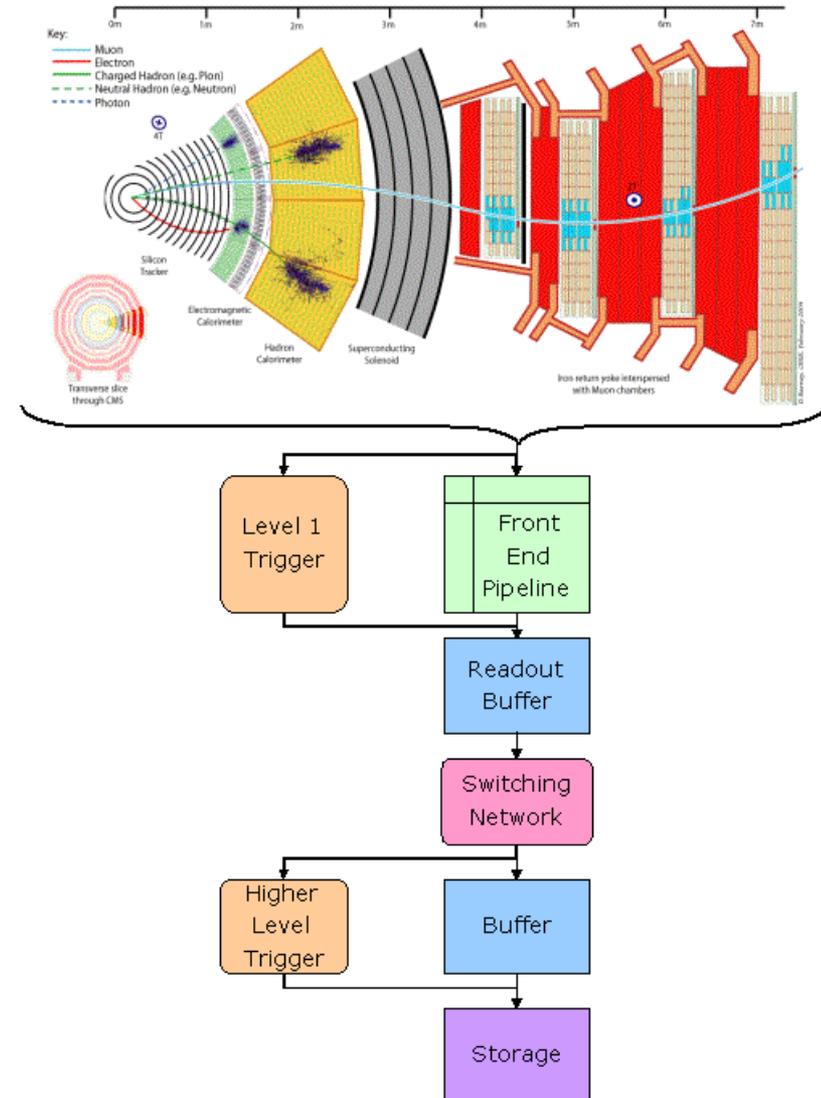
- 1  $\pi^{+-}$
- 1  $\pi^{+-}$  + (1 ou 2)  $\pi^0$
- 3  $\pi^{+-}$



- Sortie du détecteur :  $\sim 40\text{MHz}$

- Trigger L1 :  $\sim 100\text{kHz}$ 
  - Objects physique simples
  - Dépôts d'énergie

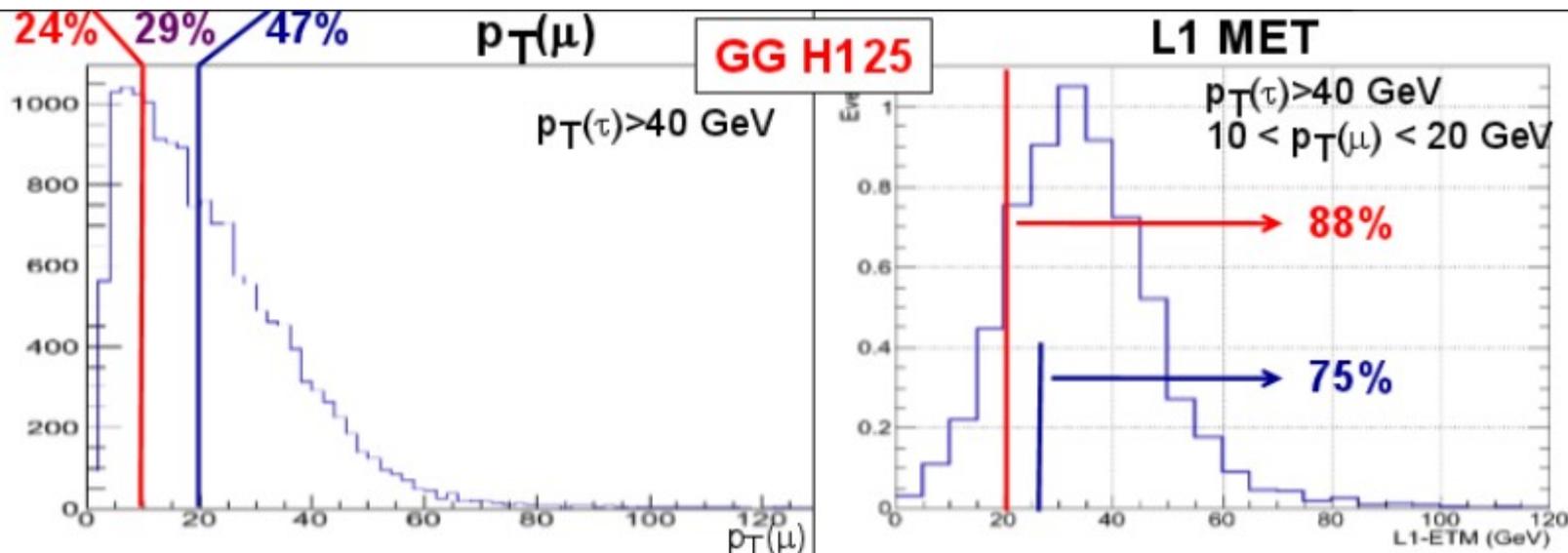
- HLT :  $\sim 100\text{Hz}$ 
  - Utilisation du trajectographe
  - Signatures plus précises
  - Eg :  $\mu+\tau$  /  $e+\tau$



Pour la recherche  $H \rightarrow \tau\tau$

Mesure d'efficacité en vue de l'intégration à un nouveau trigger

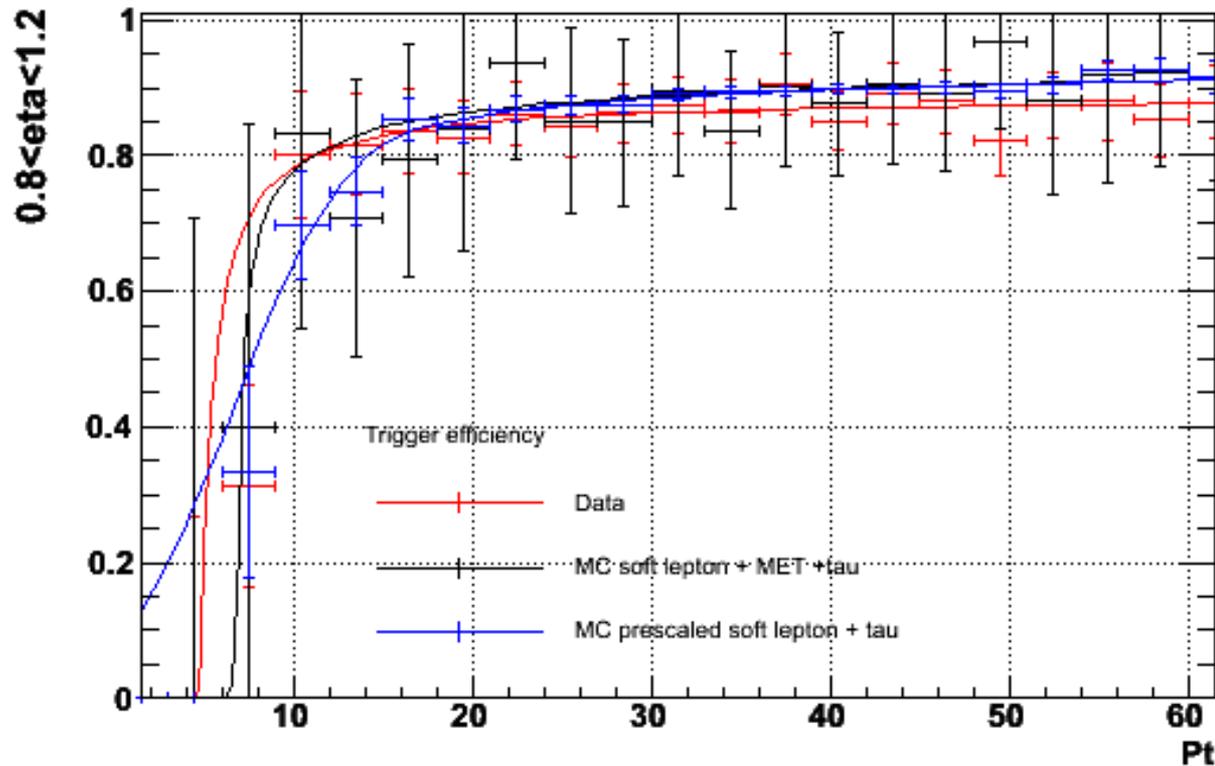
- Optimisation de la selection sur l'énergie du lepton ( $e, \mu$ )
- Utilisation de l'énergie transverse manquante



- ~ 45 % d'augmentation de l'acceptance (pour un seuil en MET à 25 GeV)

Système de déclenchement avec muon de faible energie et lepton  $\tau$

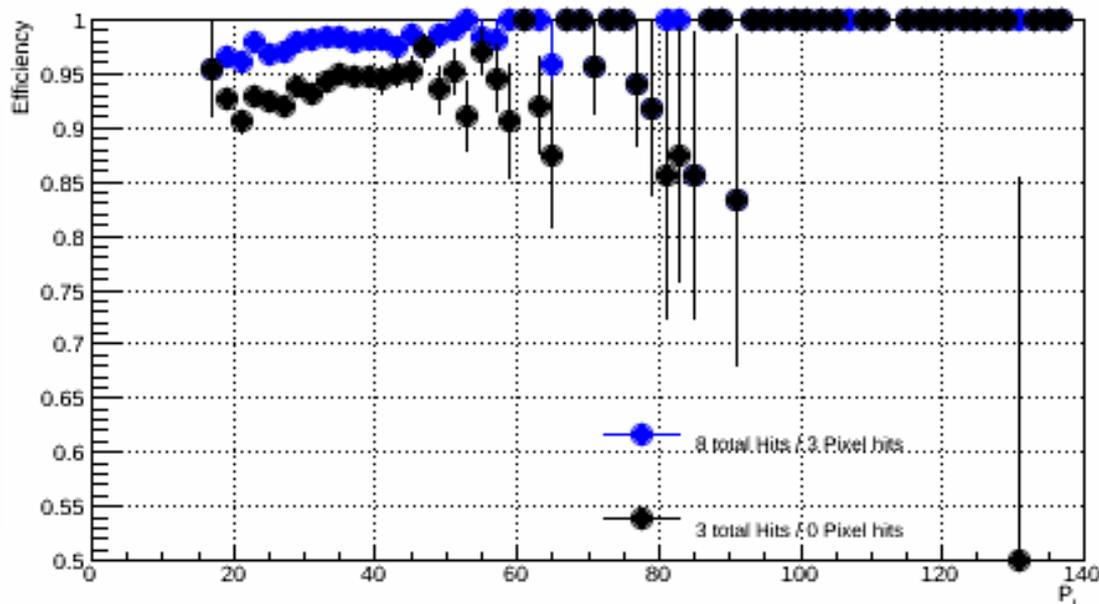
- $P_t^\mu > 8 \text{ GeV}$
- $P_t^\tau > 20 \text{ GeV}$
- Etudes des branches Lepton /  $\tau$  du trigger
- Catégorisation suivant la position dans le détecteur
- Comparaison avec deux simulations (MC) avec/sans MET



- Amélioration de la reconstruction et de l'isolation des leptons  $\tau$  (hadroniques) au niveau du système de déclenchement afin de conserver une fréquence de déclenchement suffisamment basse pour les données du Run2 (2015).
  - **Isolation vis a vis des traces :**
  - Aucune « bonne trace » dans un certain cône autour du lepton  $\tau$
  - « bonne trace » =
    - 8 coups détectés dans le tracker (sur 8 couches)**
    - Autres critères de qualité (impulsion transverse...)
- Etude sur les données 2012 visant à déterminer des possibles augmentation du fréquence de déclenchement ou perte en efficacité.

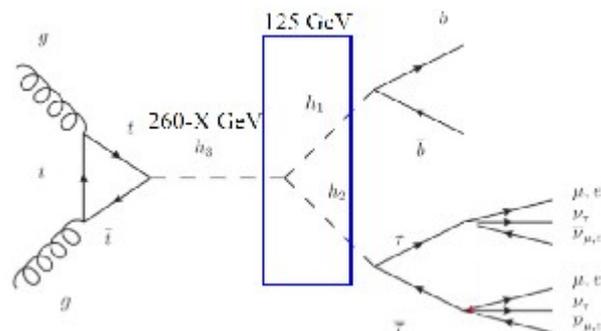
- Etude de 15 critères de qualité possibles
  - Ici les deux plus extrêmes

Critère de qualité	Taux de déclenchement
8Hits (actuel)	4Hz
3Hits (plus léger possible)	3.61Hz



- Gain en taux de déclenchement trop faible

- Le détecteur CMS
- Etudes sur les systèmes de déclenchement (trigger)
  - Généralités
  - Efficacité des systèmes de déclenchement soft lepton +  $\tau_h$
  - Isolation des leptons  $\tau$  au niveau du trigger
- Recherche de  $H \rightarrow hh \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$ 
  - Présentation générale de l'analyse
  - Bruits de fond



Recherche de  $H \rightarrow hh \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$  motivée par :

- modèles avec doublets de Higgs (eg MSSM)
- modèles avec une résonance  $X \rightarrow hh$  (eg NMSSM ou plus exotique)

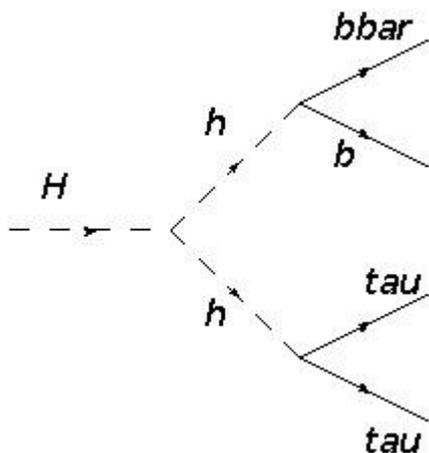
- Analyse en cours (pas encore publique) sur les données 2012 de CMS

collaboration avec Karlsruhe Institute of Technology

- MSSM comme référence avec:

- $M_H = 300$  GeV et choix d'autres paramètres du modèle

$\Rightarrow \sim 1\,700$  événements attendus pour  $L = 19,7$  fb<sup>-1</sup>

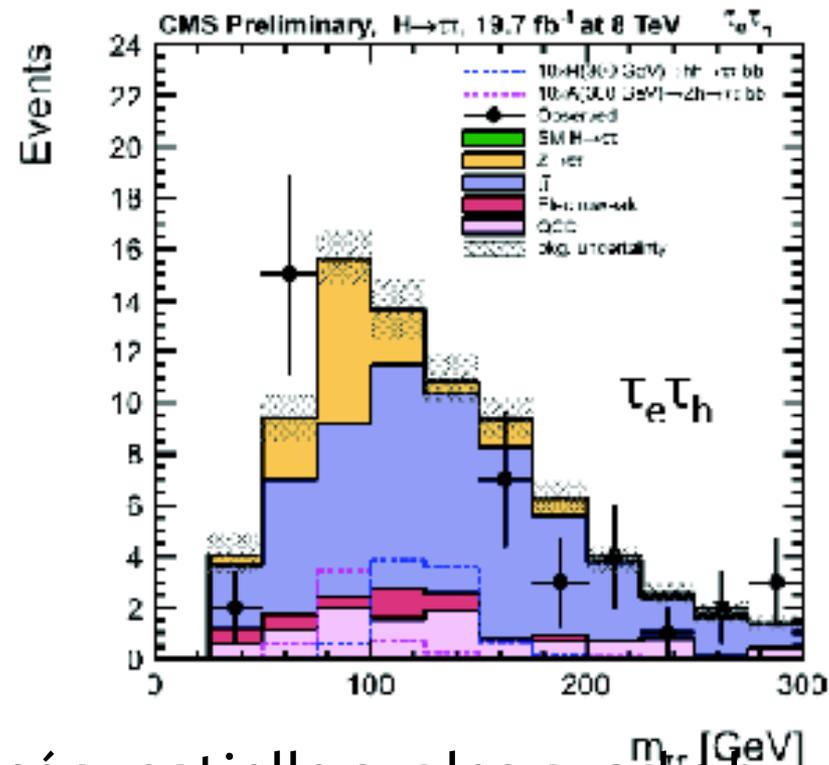
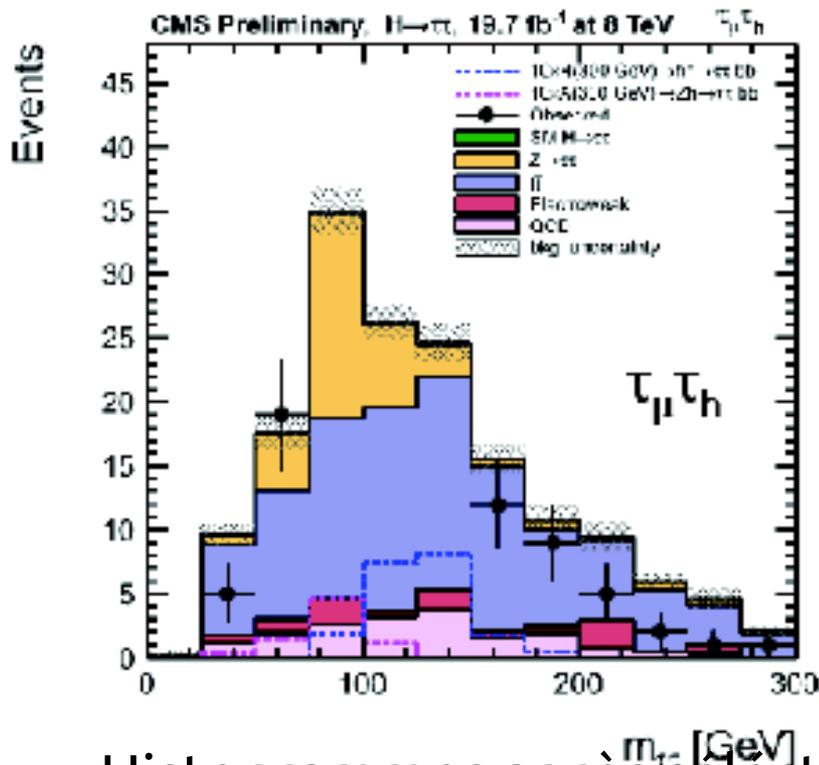


## MSSM

canal	Fréquence
$h(bb,cc,gg)h(bb,cc,gg)$	47.86 %
$h(bb,cc,gg)Hh(VV)$	33.40 %
$h(bb,cc,gg)h(\tau\tau)$	8.77 %
<b><math>h(bb)h(\tau\tau)</math></b>	<b>7,29 %</b>
$h(VV)h(VV)$	5,83 %
$h(ll)h(VV)$	3,06 %
$h(\tau\tau)h(\tau\tau)$	0,40 %
$h(bb,cc,gg)h(\gamma\gamma)$	0,32 %
$h(bb,cc,gg)h(\mu\mu)$	0,03 %

- Le canal de désintégration  $b\bar{b}\tau\tau$  offre :
  - signature bien identifiable
  - fréquence désintégration raisonnable
  - Résolution suffisante
- Les canaux de désintégration de la paire de leptons  $\tau$  suivants sont étudiés :
  - $\tau_e \tau_\mu$     $\tau_h \tau_h$     $\tau_e \tau_h$     $\tau_\mu \tau_h$
  - leptons  $\tau$  traités de manière similaire à la recherche  $h \rightarrow \tau\tau$  (MSSM)
  - quarks  $b$  identifiés à l'aide d'un algorithme d'étiquetage dédié

- Bruits de fonds principaux
  - Z → ττ (irréductible)
  - tt̄ (bruit dominant pour τeτh ; τμτh)



Histogrammes après sélection séquentielle sur les quarks b, les leptons tau, la masse invariante de la paire bb̄

- Analyse à l'aveugle
- Sélection en cours d'optimisation

- Affiner la précision de l'estimation du fond  $t\bar{t}$ 
  - Définition de zones de contrôles en fonction de  $m(b\bar{b})$  et  $m(\tau\tau)$
  - Tests des variables potentiellement discriminantes
- Modification des coupures, des sélections du signal  
=> analyse statistique multi-variée (MVA)
- Résultats prévus pour décembre 2014



- Jusqu'en février, une grande partie du travail de ma thèse était consacrée aux triggers tau
  - autour de la recherche du  $H \rightarrow \tau\tau$  avec les données 2012
  - pour l'amélioration pour le Run2 du LHC à 13 TeV (2015)
  
- Actuellement, recherche  $H \rightarrow hh \rightarrow b\bar{b}\tau\tau$  sur les données à 8TeV
  - Reste très liée à l'analyse  $H \rightarrow \tau\tau$
  - Resultats et publication attendus pour décembre 2014