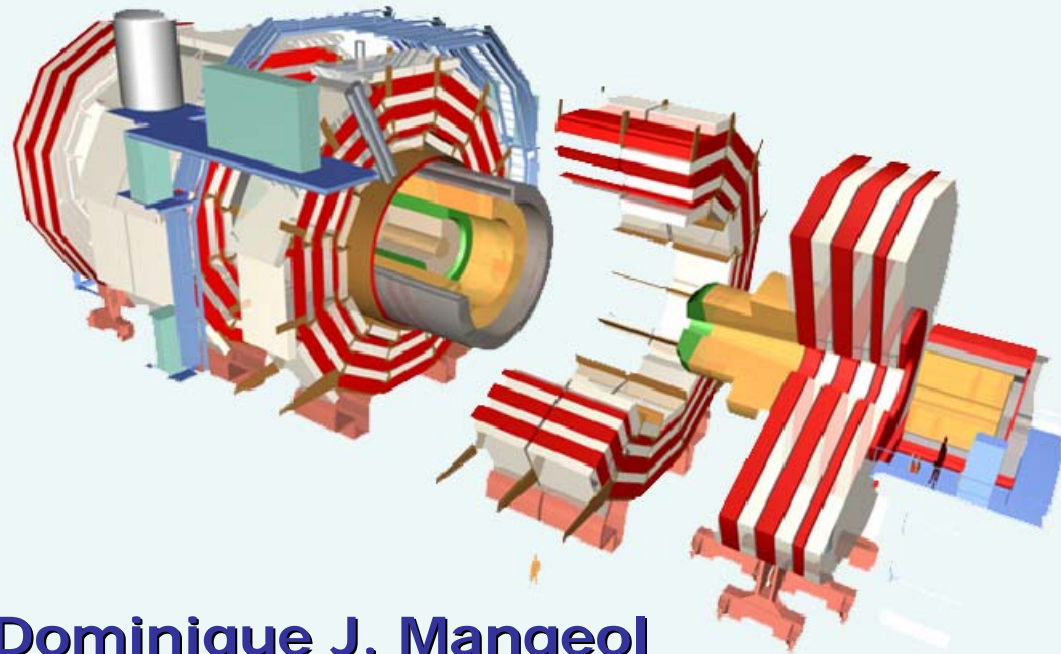


# Recherche et étude de la supersymétrie dans le canal des taus au LHC

Séminaire LAL Orsay  
2 Avril 2007



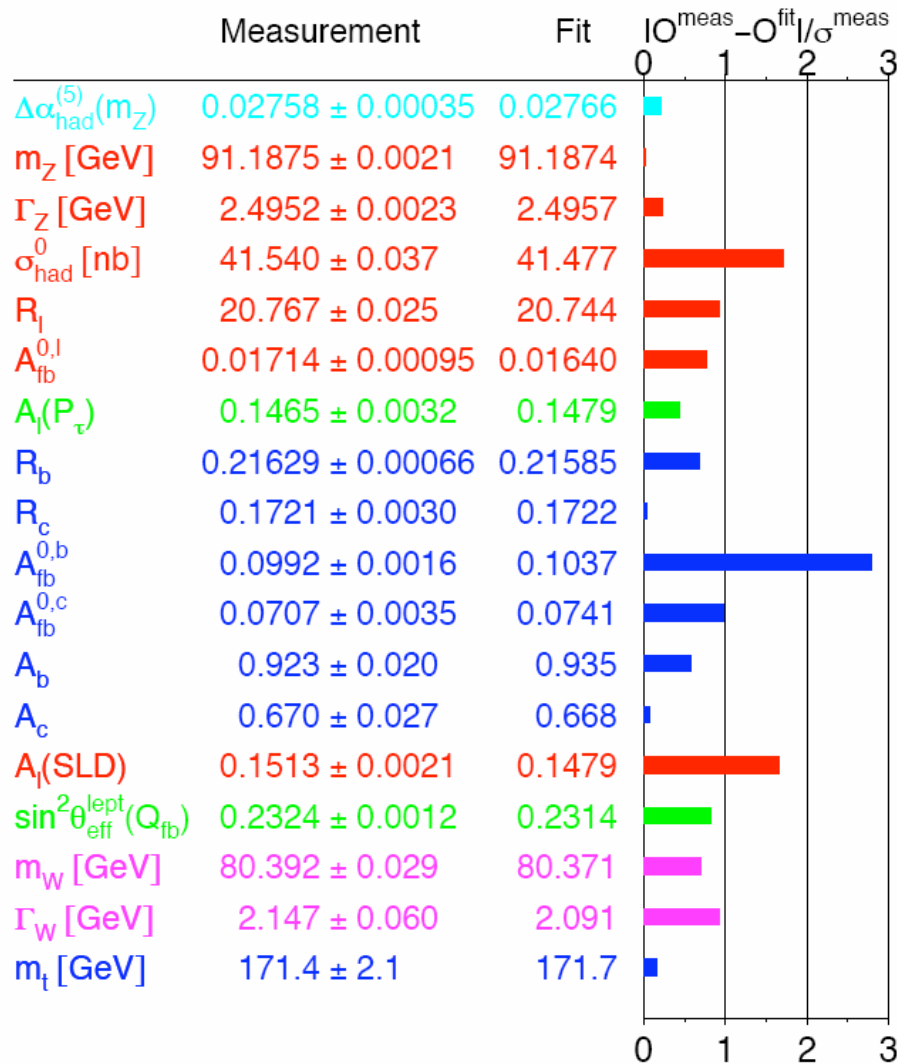
**Dominique J. Mangeol**  
IPHC, Strasbourg



# Introduction



- **Motivations**
- **Les outils de la découverte: Le LHC**
- **L'expérience CMS**
- **Problématique de la reconstruction des observables**
- **Recherche inclusive de SUSY dans le canal des taus**
- **Reconstruction de la masse des Sparticules**
- **Perspectives**



**Prédictions du Modèle Standard  
vérifiées avec grandes précisions  
au LEP**

**Néanmoins ne permet pas de  
répondre à toutes les questions  
fondamentales**

**⇒ Modèle "jugé" Incomplet**

**19 + 9 (neutrinos massifs) paramètres ajustables et beaucoup (trop ?) de questions laissées sans réponse...**

## **N'offre pas d'explication à (entre autres):**

- **Pourquoi 3 familles de quarks et leptons**
- **La grande hiérarchie de masse existant entre les différentes particules**
- **Corrections radiatives à la masse du Higgs trop grande**
- **Origine de la violation CP**
- **Asymétrie matière-antimatière existant dans l'univers**
- **Présence de Matière Sombre dans l'univers**
- **Unification constante de couplage électromagnétique et faible mais pas forte ?**
- ...

## Ajoute une nouvelle symétrie au Modèle Standard

Associe un nouveau fermion à chaque boson et vice-versa

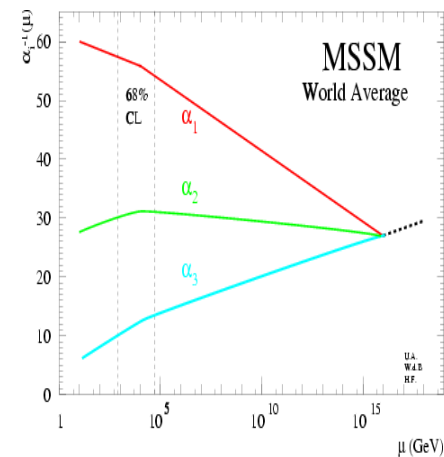
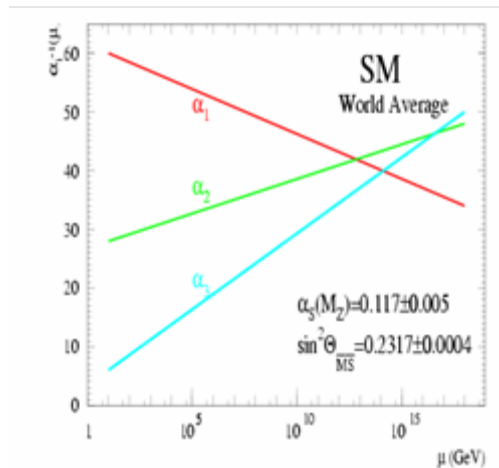
Constitue une extension des symétries Espace-temps

Il s'agit d'une symétrie brisée dont la viabilité repose sur l'existence d'une physique nouvelle à l'énergie du TeV

Names		spin 0	spin 1/2	$SU(3)_C, SU(2)_L, U(1)_Y$
squarks, quarks (×3 families)	$Q$	$(\tilde{u}_L \tilde{d}_L)$	$(u_L d_L)$	$(\mathbf{3}, \mathbf{2}, \frac{1}{6})$
	$\bar{u}$	$\tilde{u}_R^*$	$u_R^\dagger$	$(\bar{\mathbf{3}}, \mathbf{1}, -\frac{2}{3})$
	$\bar{d}$	$\tilde{d}_R^*$	$d_R^\dagger$	$(\bar{\mathbf{3}}, \mathbf{1}, \frac{1}{3})$
sleptons, leptons (×3 families)	$L$	$(\tilde{\nu} \tilde{e}_L)$	$(\nu e_L)$	$(\mathbf{1}, \mathbf{2}, -\frac{1}{2})$
	$\bar{e}$	$\tilde{e}_R^*$	$e_R^\dagger$	$(\mathbf{1}, \mathbf{1}, 1)$
Higgs, higgsinos	$H_u$	$(H_u^+ H_u^0)$	$(\tilde{H}_u^+ \tilde{H}_u^0)$	$(\mathbf{1}, \mathbf{2}, +\frac{1}{2})$
	$H_d$	$(H_d^0 H_d^-)$	$(\tilde{H}_d^0 \tilde{H}_d^-)$	$(\mathbf{1}, \mathbf{2}, -\frac{1}{2})$

Names	spin 1/2	spin 1	$SU(3)_C, SU(2)_L, U(1)_Y$
gluino, gluon	$\tilde{g}$	$g$	$(\mathbf{8}, \mathbf{1}, 0)$
winos, W bosons	$\tilde{W}^\pm \tilde{W}^0$	$W^\pm W^0$	$(\mathbf{1}, \mathbf{3}, 0)$
bino, B boson	$\tilde{B}^0$	$B^0$	$(\mathbf{1}, \mathbf{1}, 0)$

- ❖ Rend compte des propriétés du Modèle Standard
  - ❖ Corrige problème de divergence de la masse du Higgs aux hautes énergies
  - ❖ Masse du Higgs le plus léger < 135GeV
  - ❖ Influe sur l'évolution des constantes de couplage de sorte que l'unification des 3 constantes de couplage se produit à l'échelle de Planck ( $10^{19}$ GeV)
  - ❖ Si la parité  $R=(-1)^{3(B-L)+2S}$  est conservé
    - ❖ Particules supersymétriques sont produite en paire
    - ❖ La particule supersymétrique la plus légère (LSP) est stable
- ⇒ Offre un candidat susceptible d'expliquer la matière sombre



**La brisure spontanée de la supersymétrie ne se produit pas à basse énergie (EW)**

- ⇒ Suppose l'existence d'un "secteur caché" où la brisure de symétrie se produit
- ⇒ Transmise au "secteur visible" du MSSM aux énergies de l'interaction EW

**Plusieurs mécanismes de transmissions ont été étudiés:**

- Transmission assurée par la gravité à l'échelle de la Grande Unification ( $10^{16}\text{GeV}$ )
  - ⇒ SuperGravité
- Transmission par interaction de jauge

**Problème: MSSM introduit 105 nouveaux paramètres**

**Ce nombre de paramètres est significativement réduit en introduisant un certain nombre de contraintes (cMSSM)**

- **mSUGRA** (brisure de symétrie transmise pas la gravité)  
**5 paramètres**
- **GMSB** (brisure de symétrie transmise par interaction de jauge)  
**6 paramètres**
- **AMSB** (brisure de symétrie transmise par super-Weyl anomalie, "secteur caché" sur une brane différente)  
**4 paramètres**



**SuperSymétrie locale basé sur la SuperGravité**

**Brisure de la supersymétrie transmise par la gravité**

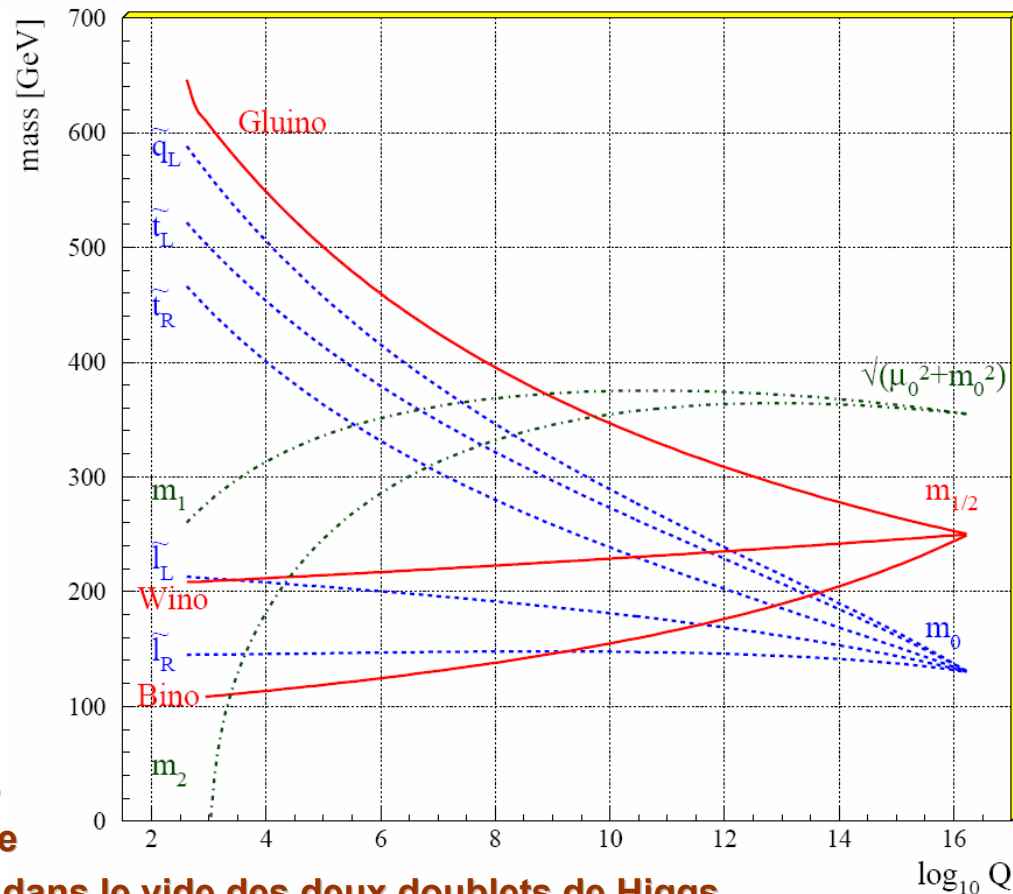
**Parité R conservé**

**LSP  $\Rightarrow$  Le neutralino1**

**Contraint le MSSM en imposant l'unification de la masse des jauginos et des scalaires à l'échelle de GUT**

**$\Rightarrow$  Seulement 5 paramètres:**

- $m_0$  : masse universelle des scalaires
- $m_{1/2}$  : masse universelle des jauginos
- $A_0$  : constante de couplage tri linéaire
- $\tan\beta$  : rapport de la valeurs moyenne dans le vide des deux doublets de Higgs
- $\text{sign}(\mu)$  : signe du couplage des deux doublets de Higgs



**Spectre de masse des sparticules calculé à partir des Equation du Groupe de Renormalisation (RGE)**

**SuperSymétrie locale basé sur la SuperGravité**

**Brisure de la supersymétrie transmise par la gravité**

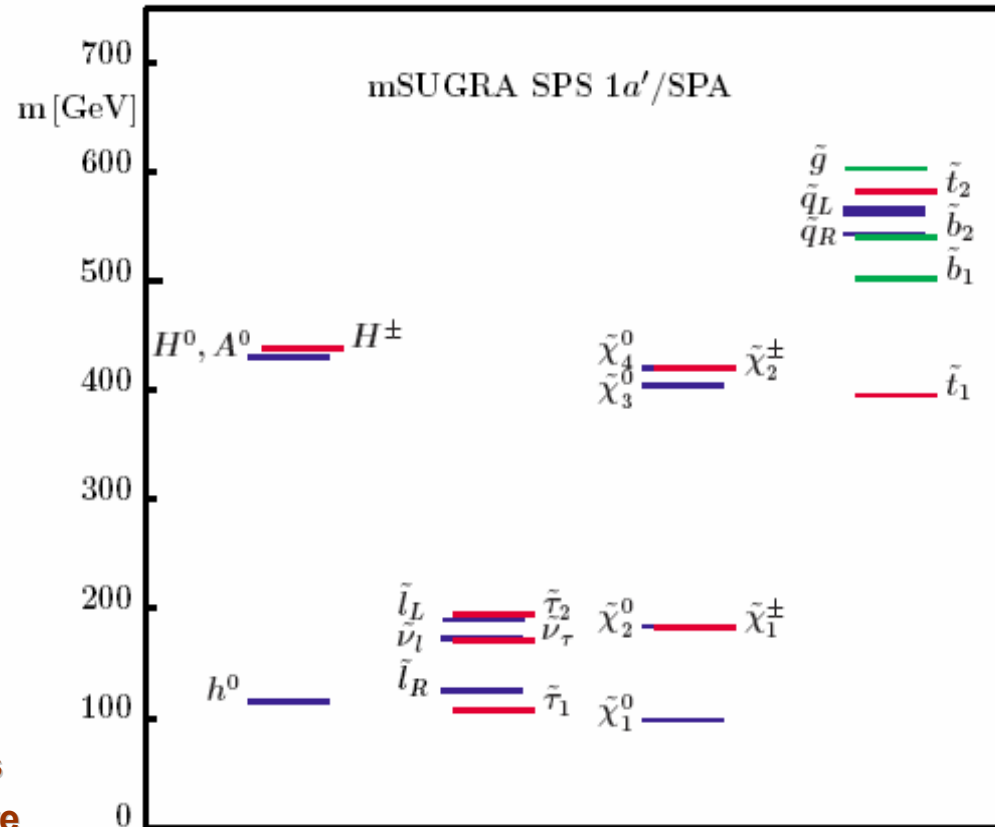
**Parité R conservé**

**LSP  $\Rightarrow$  Le neutralino1**

**Contraint le MSSM en imposant l'unification de la masse des jauginos et des scalaires à l'échelle de GUT**

**$\Rightarrow$  Seulement 5 paramètres:**

- $m_0$  : masse universelle des scalaires
- $m_{1/2}$  : masse universelle des jauginos
- $A_0$  : constante de couplage tri linéaire
- $\tan\beta$  : rapport de la valeurs moyenne dans le vide des deux doublets de Higgs
- $\text{sign}(\mu)$  : signe du couplage des deux doublets de Higgs



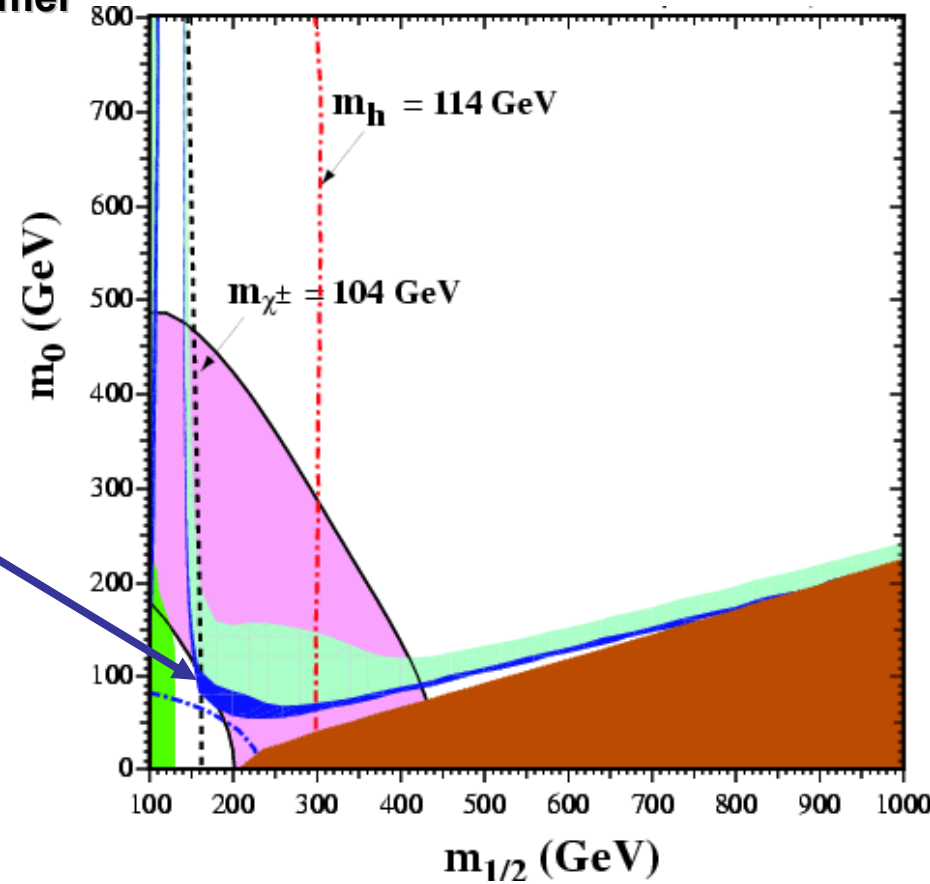
**Spectre de masse des sparticules calculé à partir des Equation du Groupe de Renormalisation (RGE)**

Observations du satellite WMAP a permis d'estimer la densité résiduelle de la matière sombre

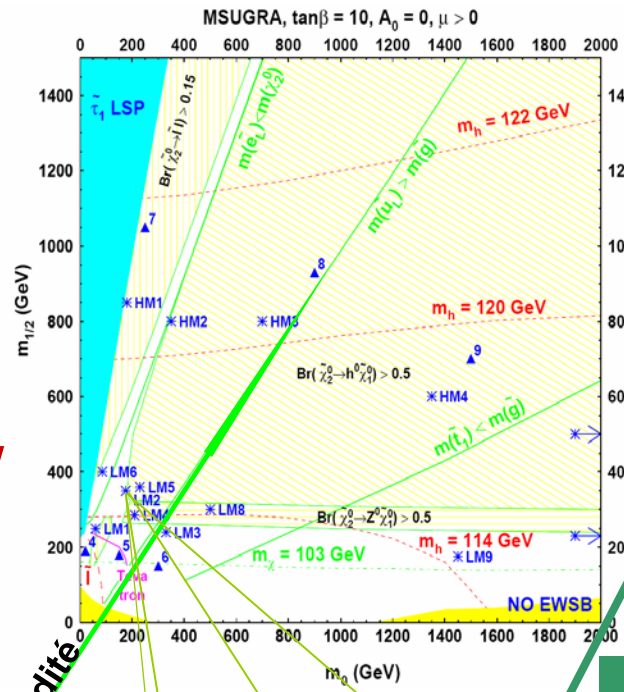
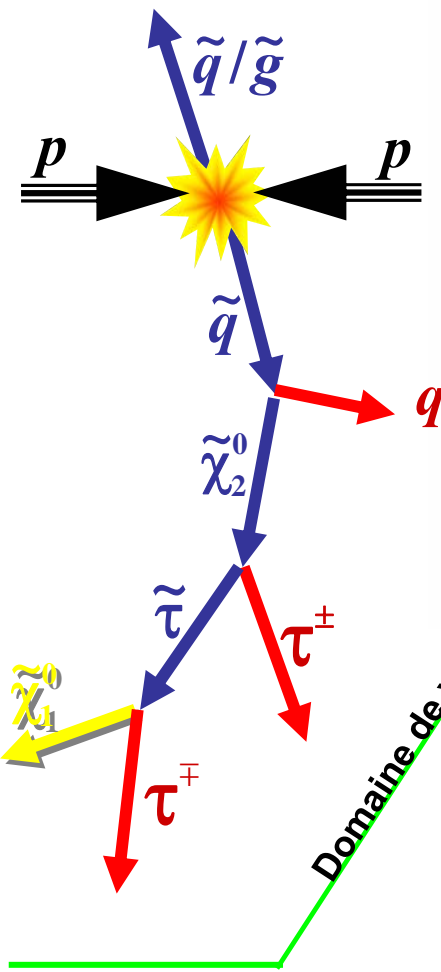
⇒ Peut être traduit en terme de densité en LSP

$$0.094 < \Omega_m h^2 = n_{LSP} \times m_{LSP} < 0.129$$

Impose des contraintes strictes sur l'espace des paramètres de mSUGRA

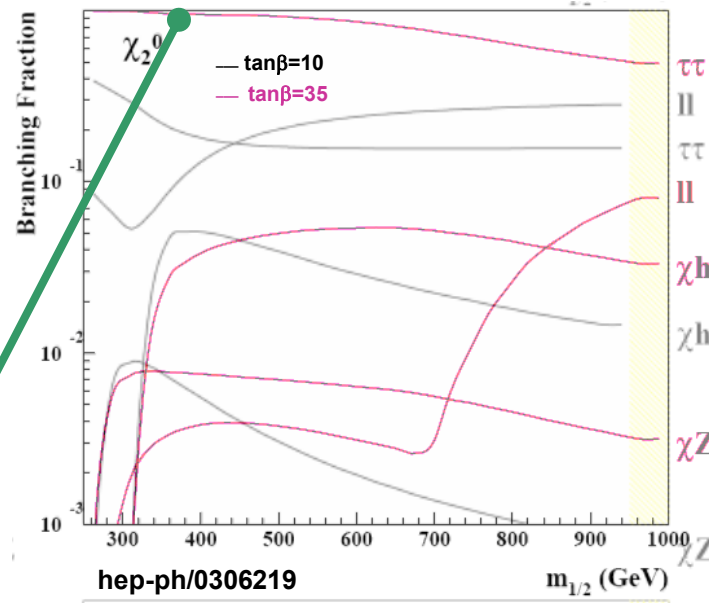


# Désintégration en cascade vers des taus au point LM2



**Point LM2**  
 $m_0 = 185 \text{ GeV}$   
 $m_{1/2} = 350 \text{ GeV}$   
 $\tan \beta = 35$   
 $A_0 = 0; \mu > 0$

A grand  $\tan \beta$ ,  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tau \tilde{l}$  minoritaire



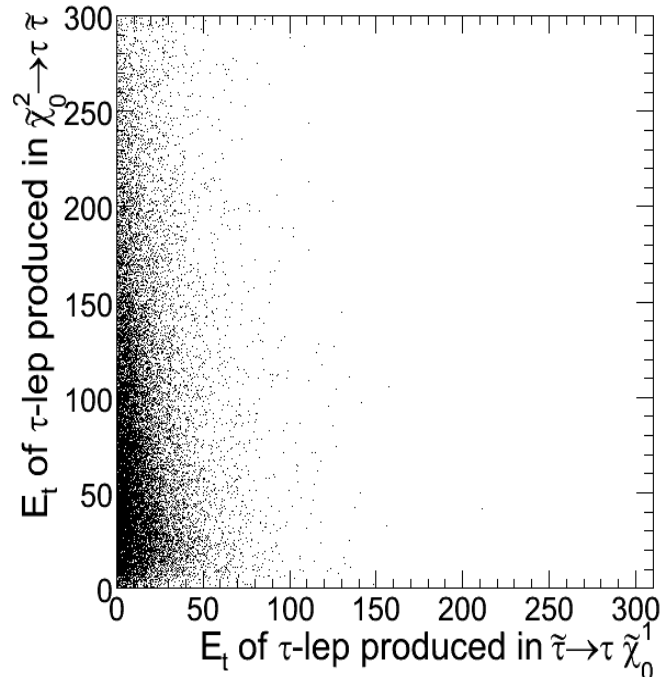
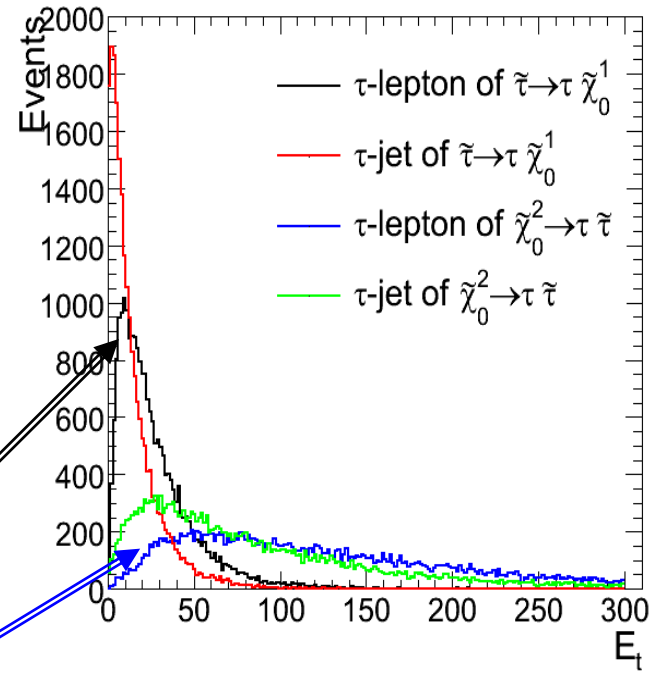
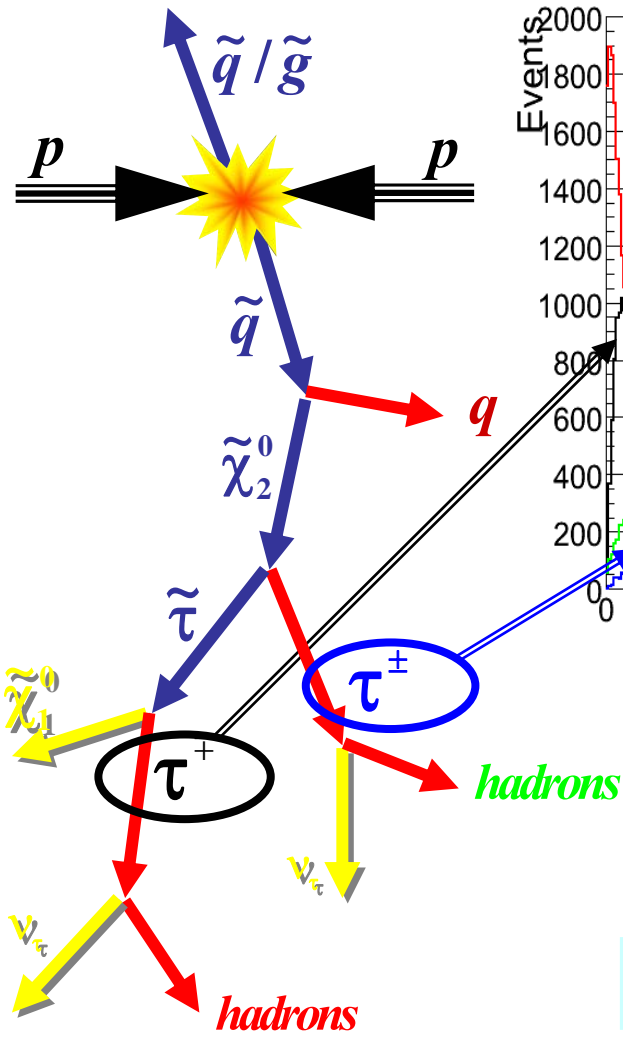
RB  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tau \tilde{\tau}$  :96%

LM2 compatible avec WMAP

**Etude de ce secteur essentielle**

**Seulement...**

$\Rightarrow \tilde{\tau} \rightarrow \tau \tilde{\chi}_1^0$  produit un  $\tau$  avec des energies tres faible

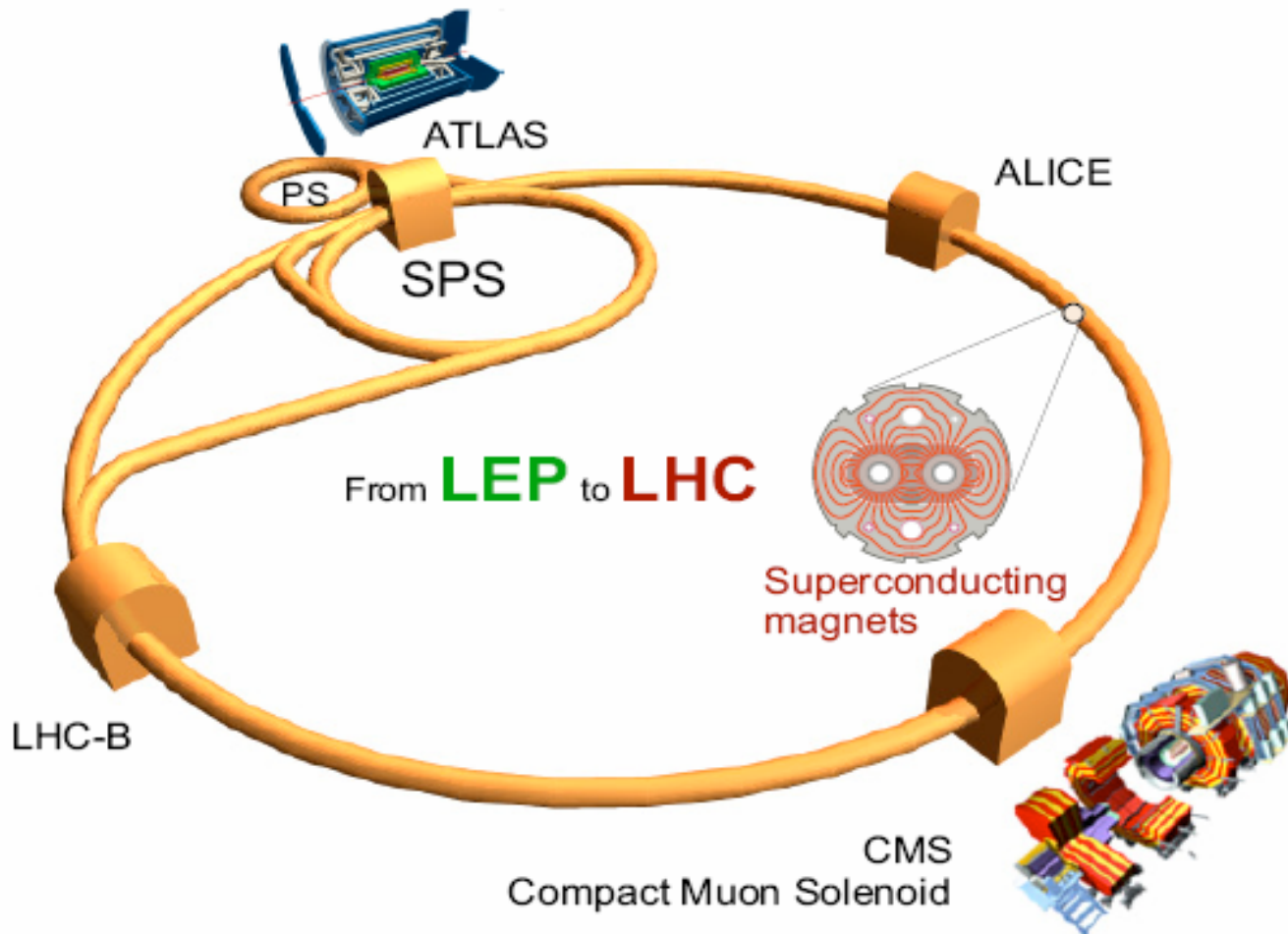


**La reconstruction d'une telle cascade nécessitera l'identification des 2 taus**

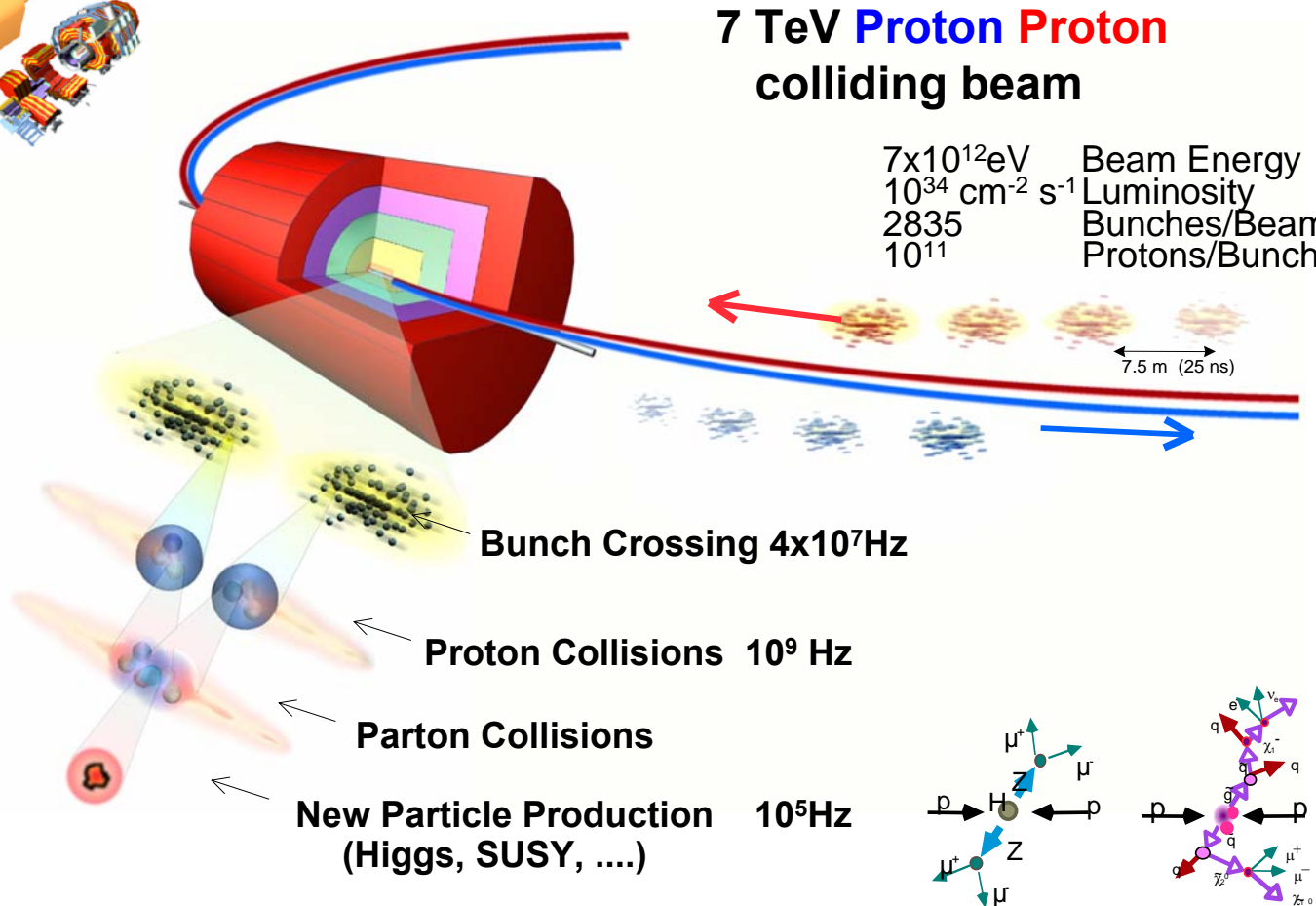
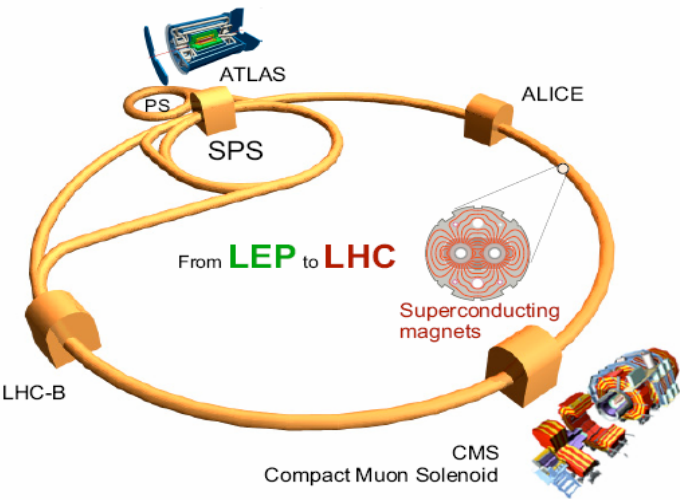
**Complicé d'un point de vue expérimentale**

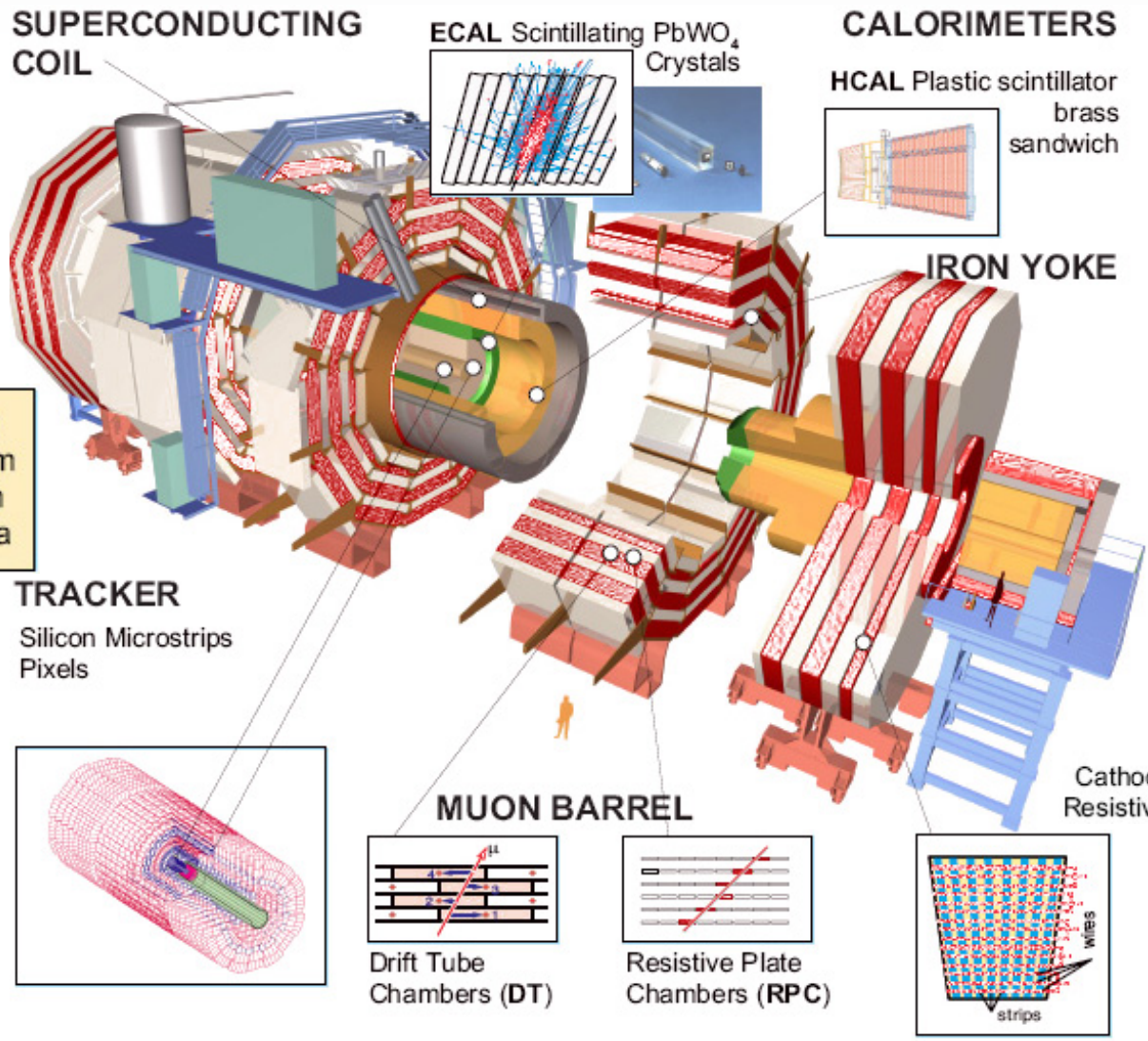
# De la prédiction à la découverte: Le Collisionneur LHC au CERN

## The Large Hadron Collider (LHC)



# De la prédiction à la découverte: Le Collisionneur LHC au CERN

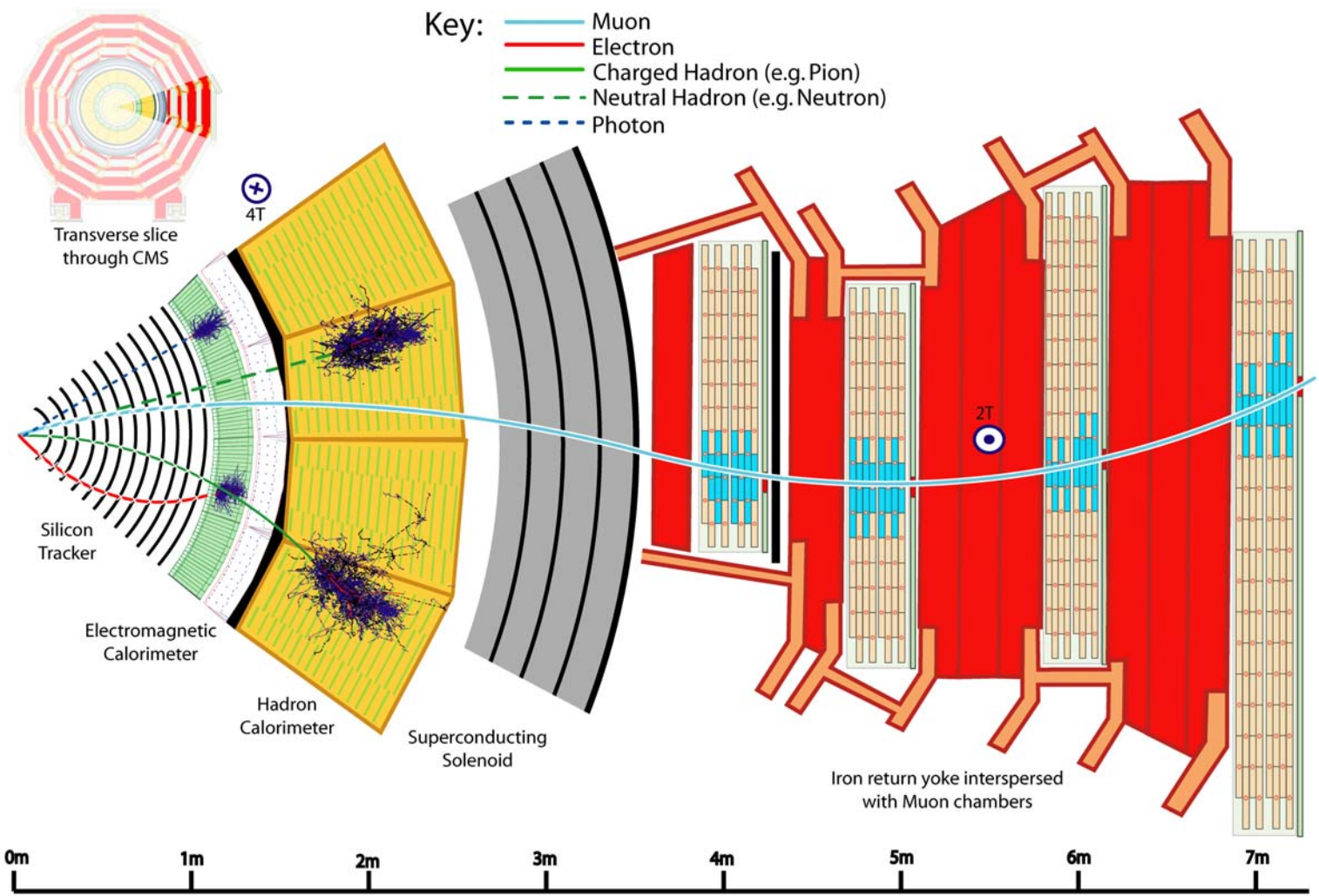




Total weight : 12,500 t  
 Overall diameter : 15 m  
 Overall length : 21.6 m  
 Magnetic field : 4 Tesla



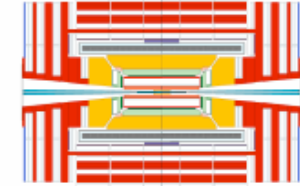
# Détection des particules dans CMS



## COMMUNICATION



100 kHz LEVEL-1 TRIGGER



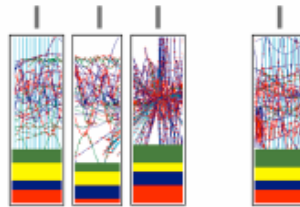
## PROCESSING

16 Million channels  
3 Gigacell buffers



1 Megabyte EVENT DATA

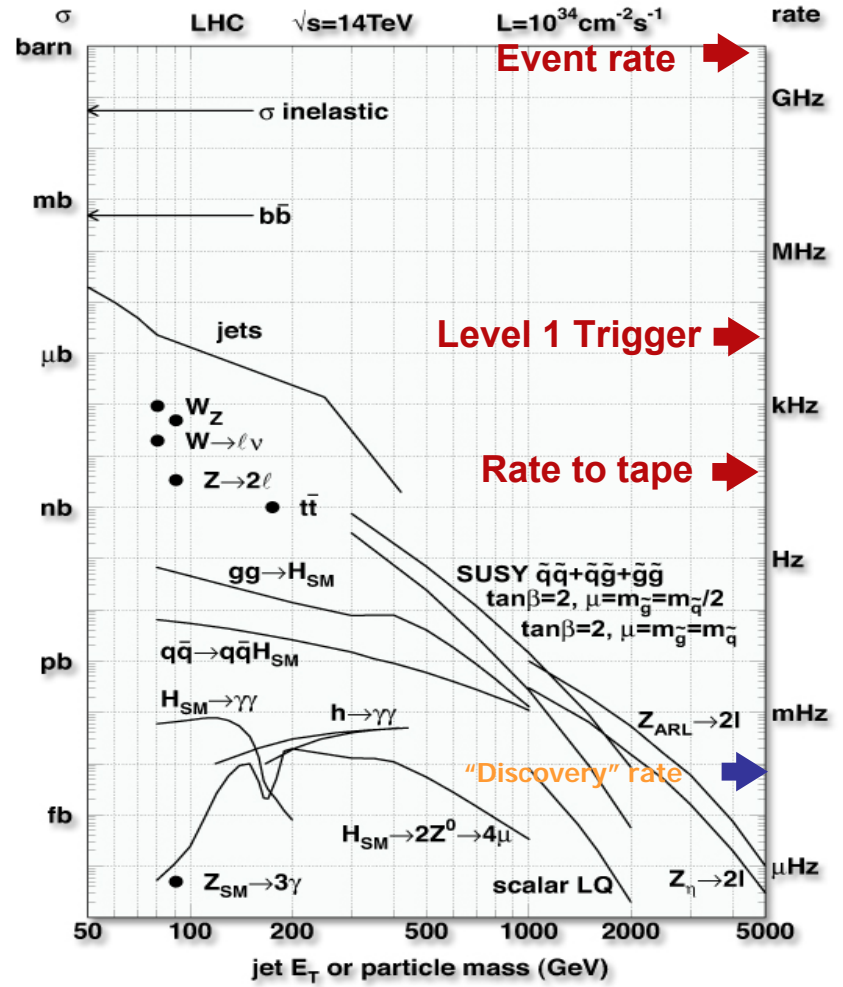
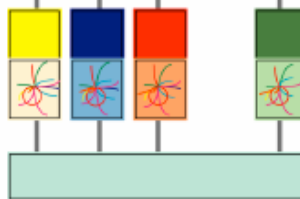
200 Gigabyte BUFFERS  
500 Readout memories



**EVENT BUILDER.** A large switching network (512+512 ports) with a total throughput of approximately 500 Gbit/s forms the interconnection between the sources (Readout Dual Port Memory) and the destinations (switch to Farm Interface). The Event Manager collects the status and request of event filters and distributes event building commands (read/clear) to RDPMs.

**5 TeraFLOP EVENT FILTER.** It consists of a set of high performance commercial processors organized into many farms convenient for on-line and off-line applications. The farm architecture is such that a single CPU processes one event.

Petabyte ARCHIVE



Tera :  $10^{12}$ ; Peta  $10^{15}$ ; LAN : Local Area Network

**Bande passante total en sortie du L1 trigger environ  
20 kHz au démarrage et jusqu'à 100 kHz en 2010  
(8 "events filter farm" en 2010; démarrage avec une seule)**

L1 triggers utilisés dans l'analyse

Trigger Type	Threshold	L1ETcut	Rate (kHz)	Rate incr (kHz)	Cumul Rate (kHz)
Single EGamma	28.9	22	3.92+/-0.251	3.92+/-0.251	3.92+/-0.251
Double EGamma	17.3	11	1.04+/-0.129	0.721+/-0.107	4.64+/-0.273
Single Muon	14	14	1.73+/-0.166	1.7+/-0.165	6.34+/-0.319
Double Muon	3	3	1.03+/-0.128	0.913+/-0.121	7.26+/-0.341
Single Tau-Jet	93	100	2.19+/-0.187	1.87+/-0.173	9.13+/-0.382
Double Tau-Jet	53	60	2.98+/-0.218	1.99+/-0.178	11.1+/-0.422
1,2,3,4-jets	181,123	150,100	2.24+/-0.19	0.977+/-0.125	12.1+/-0.44
Single jet	181	150	0.817+/-0.114	0+/-0	12.1+/-0.44
Double jet	123	100	1.65+/-0.163	0+/-0	12.1+/-0.44
Triple jet	88.6	70	0.721+/-0.107	0+/-0	12.1+/-0.44
Quadruple jet	65.6	50	0.529+/-0.092	0+/-0	12.1+/-0.44
HT	324	275	1.97+/-0.178	0.416+/-0.082	12.5+/-0.45
Missing ET	131	60	0.448+/-0.085	0.0961+/-0.039	12.6+/-0.449
Total ET	-1e+03	1e+03	0.112+/-0.042	0+/-0	12.6+/-0.449
HT*ETMiss	200, 40	200, 40	1.09+/-0.132	0.304+/-0.070	12.9+/-0.455
Jet*ETMiss	100, 40	100, 40	1.11+/-0.133	0.0801+/-0.036	13+/-0.456
Tau*ETMiss	60, 40	60, 40	2.72+/-0.209	2.1+/-0.183	15.1+/-0.492
Mu*ETMiss	5, 30	5, 30	0.144+/-0.048	0.0641+/-0.032	15.2+/-0.493
EGamma*ETMiss	15, 30	15, 30	0.529+/-0.092	0.0961+/-0.039	15.2+/-0.494
Mu*Jet	7, 100	7, 100	0.192+/-0.056	0.016+/-0.016	15.3+/-0.494
EGamma*Jet	15, 100	15, 100	0.561+/-0.095	0.0801+/-0.036	15.3+/-0.496
Mu*Tau	7, 40	7, 40	1.07+/-0.131	0.561+/-0.095	15.9+/-0.505
EGamma*Tau	15, 60	15, 60	2.58+/-0.203	0.673+/-0.104	16.6+/-0.515
EG*Mu	15, 7	15, 7	0.144+/-0.048	0.016+/-0.016	16.6+/-0.516
L1Trigger Grand OR	0	0			16.6+/-0.516

En sortie du HLT: 130 Hz

HLT triggers utilisés dans l'analyse

Trigger	Threshold (GeV) for $L=2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Prescale	Rate [Hz]
Single Electron	26		23.5 +- 6.7
Double Electron	12, 12		1.0 +- 0.1
Relaxed Double Electron	19, 19		1.3 +- 0.1
Single Photon	80		3.1 +- 0.2
Double Photon	30, 20		1.6+-0.7
Relaxed Double Photon	30, 20		1.2+-0.6
Single Photon Prescaled	23	400	0.3+-0.02
Double Photon Prescaled	12, 12	20	2.5+-1.4
Relaxed Double Photon Prescaled	19, 19	20	0.1+-0.03
Single Muon	19		25.8+-0.8
Relaxed Single Muon	37		11.9+-0.5
Double Muon	7, 7		4.8+-0.4
Relaxed Double Muon	10, 10		8.6+-0.6
Double Pixel TauJet	100 SingleTau@L1 or 66 DoubleTau@L1		4.1+-1.1
Double Tracker TauJet	100 SingleTau@L1 or 66 DoubleTau@L1		6.0+-1.1
Electron-TauJet	16, 52		~0
Muon-TauJet	15, 40		0.1+-0.06
TauJet-MET	93, 65		0.5 +- 0.1
Single jet	400		4.8 +- 0.02
Single jet Prescale 1	250	10	5.2+-0.02
Single jet Prescale 2	120	1000	1.6+-0.008
Single jet Prescale 3	60	100000	0.4+-0.002
Dijet	350		3. +- 0.02
Trijet	195		1.1 +- 0.01
Fourjet	80		8.8 +- 0.2
Acoplanar Dijet	200, DeltaPhi(dijets)<2.1		0.2+-0.008
Single jet - MET acoplanar	100, 80, DeltaPhi(jet,MET)<2.1		0.1+-0.02
Single jet - MET	180, 80		3.2+-0.07
Dijet - MET	155, 80		1.6+-0.03
Trijet - MET	85, 80		0.9+-0.07
Fourjet - MET	35, 80		1.7+-0.2
MET	91		2.5+-0.2
H <sub>T</sub> - MET	350, 80		5.6+-0.2
H <sub>T</sub> - Single Electron	350, 20		0.4+-0.1
B-jets (leading jet)	350, 150, 55 (1,3,4-jet event cuts)		10.2 +- 0.3
B-jets (second jet)	350, 150, 55 (1,3,4-jet event cuts)		8.5 +- 0.3
<b>TOTAL</b>			<b>129.8 +- 7.3</b>

# Problématique de la reconstruction des principaux observables

- **Jets et Calibrations**
  - Base de la reconstruction
  - Calibration au démarrage et plus tard...
  - Méthodes alternatives et possible amélioration
- **Énergie Manquante**
  - Problèmes à surmonter
  - Solutions possibles (mais partielles ?)
- **Reconstruction des taus**
  - Propriétés des taus (hautes et basses énergies)
  - Problématique de la reconstruction à basse énergie
  - Méthode alternative (energy flows)

## Jets initialement reconstruits avec l'algorithme "iterative cone":

"Ajoute" (Et schème) les contributions des Tours calorimétriques situés à l'intérieur de cônes centrés autour des Tours les plus énergétiques (ici  $\Delta R=0.5$ )

### Variante: "Midpoint Cone"

prend en compte Jet splitting et merging

### $k_t$ (Durham/Cambridge)

essaient de prendre en compte l'évolution de la gerbe partonique  
(plus correcte d'un point de vue QCD)

### Calibration au démarrage:

⇒ difficile et limitée

### Point de départ:

- Basés sur le Monte Carlo
- ⇒ Contrôle avec QCD di-jet balancing (1<sup>er</sup> jour)
- Sources RA des calorimètres pour la calibration des Tours
- Faisceau de test/  $W \rightarrow \mu\nu$

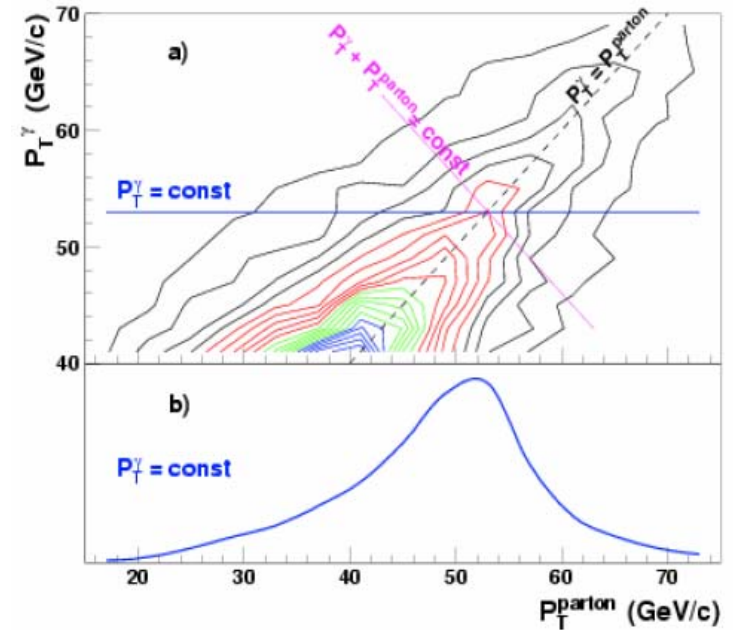
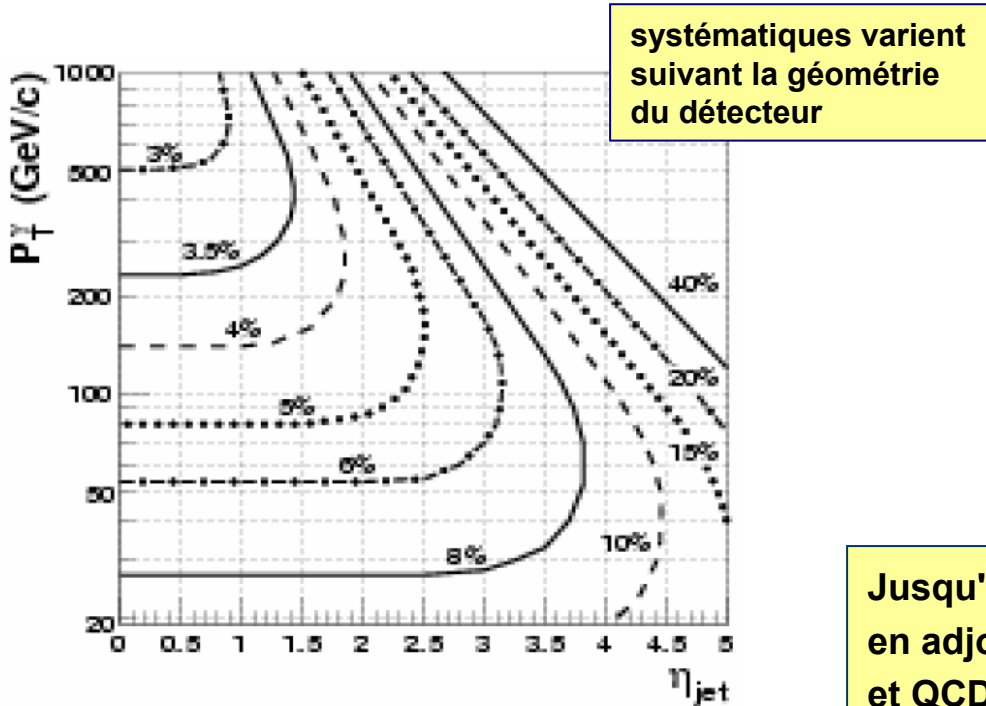
### Avec contrôles:

- bruit dans les calorimètres
- bruit électronique

Utilise les événements  $Z/\gamma^* + \text{jet}$

Jet produit dans le recul du  $Z/\gamma$   $\longrightarrow p_T^\gamma \approx p_T^{\text{parton}}$

- ⇒ prend en compte les radiations de gluon
- ⇒ particules situées en dehors du cône

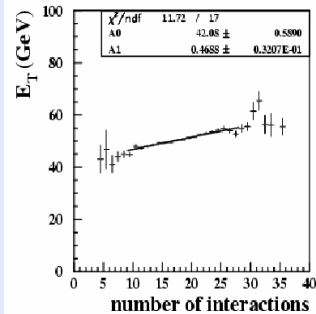


Jusqu'à 3% possible dans les basses énergies en adjoignant fit de la masse du W avec  $t\bar{t}$  et QCD di-jet balancing

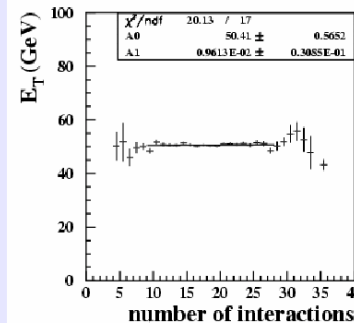
# Autres corrections

- Corrections du bruit de fond dans les calorimètres
- Soustraction du Pile-up:

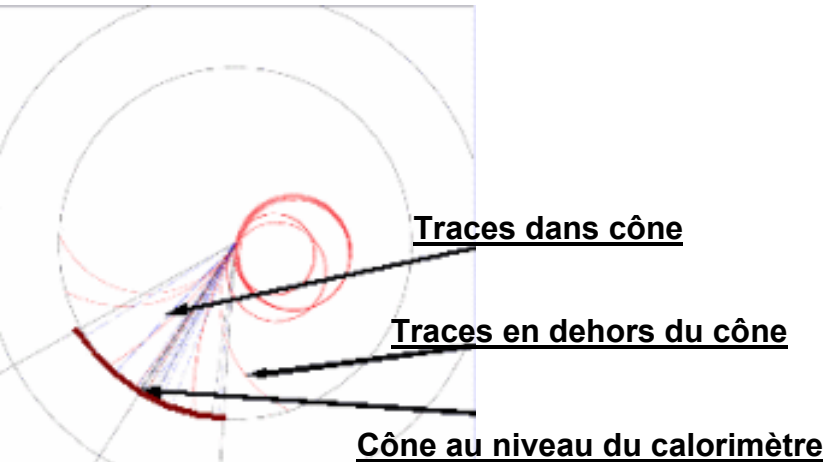
Without pile-up subtraction



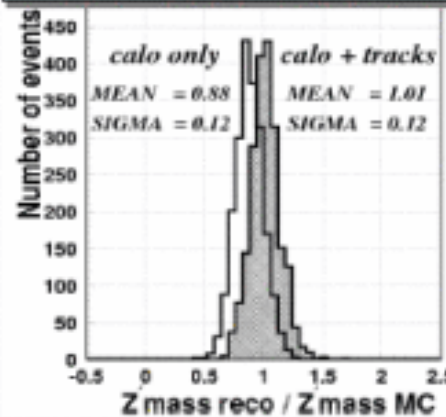
With pile-up subtraction



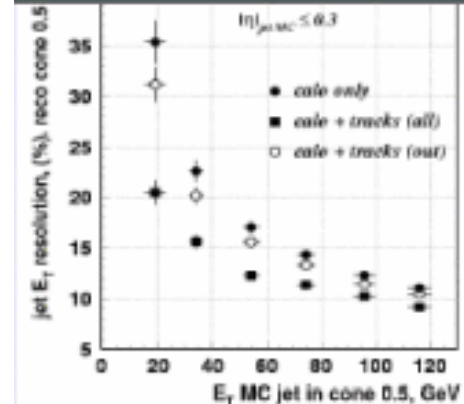
- Utilisation des traces (Eflow)  $\Rightarrow$  améliore résolution en énergie



Mass of Z' (120 GeV)



Single jets: resolution





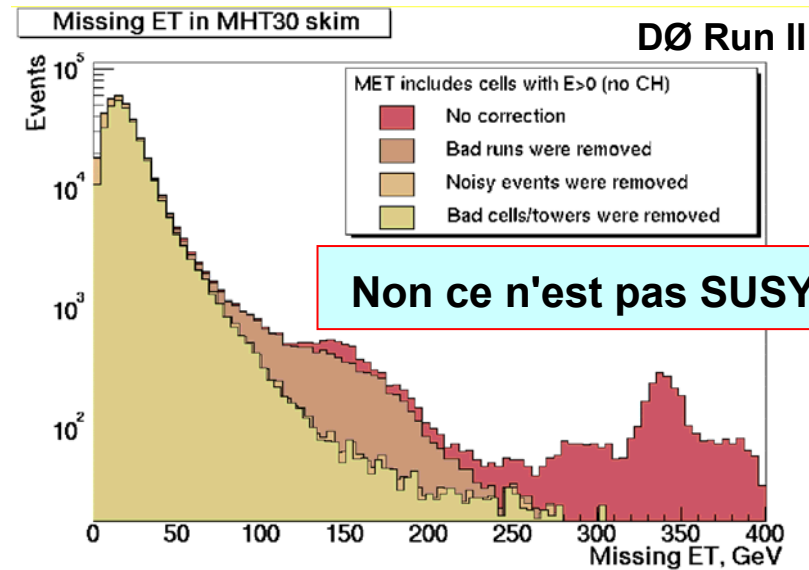
Arme par excellence de la découverte de SUSY (Parité R)











...Mais retour de feu possible...

$$E_T^{\text{miss}} = - \sum_{\text{tours}} E_n \sin \theta_n (\cos \phi_n \hat{i} + \sin \phi_n \hat{j})$$

Utilise les lois de conservation de l'énergie pour prendre en compte les particules qui n'interagissent pas avec les détecteurs

- Grandes sensibilités problèmes expérimentaux:**
- Résolution en énergie des calorimètres
    - cracks dans les calorimètres
    - canaux bruyants/morts
  - Mis calibration de l'énergie des Jets
    - ISR/FSR (événements multi-jets)
  - Particules avec  $|\eta| > 5$
  - Underlying Events et Minimum Bias
  - Pile Up
  - Champs magnétique (loopers)
  - Muons
  - beam-halo, beam gas
  - cosemics



- Grandes sensibilités problèmes expérimentaux:**
- **Résolution en énergie des calorimètres** 
    - cracks dans les calorimètres
    - canaux bruyants/morts
  - **Mis calibration de l'énergie des Jets** 
    - **ISR/FSR (événements multi-jets)** 
  - **Particules avec  $|\eta| > 5$**  
  - **Underlying events/Minimum Bias** 
  - **Pile Up** 
  - **Champs magnétique (loopers)** 
  - **Muons** 
  - **Cosmiques** 
  - **Beam-halo, beam gas** 

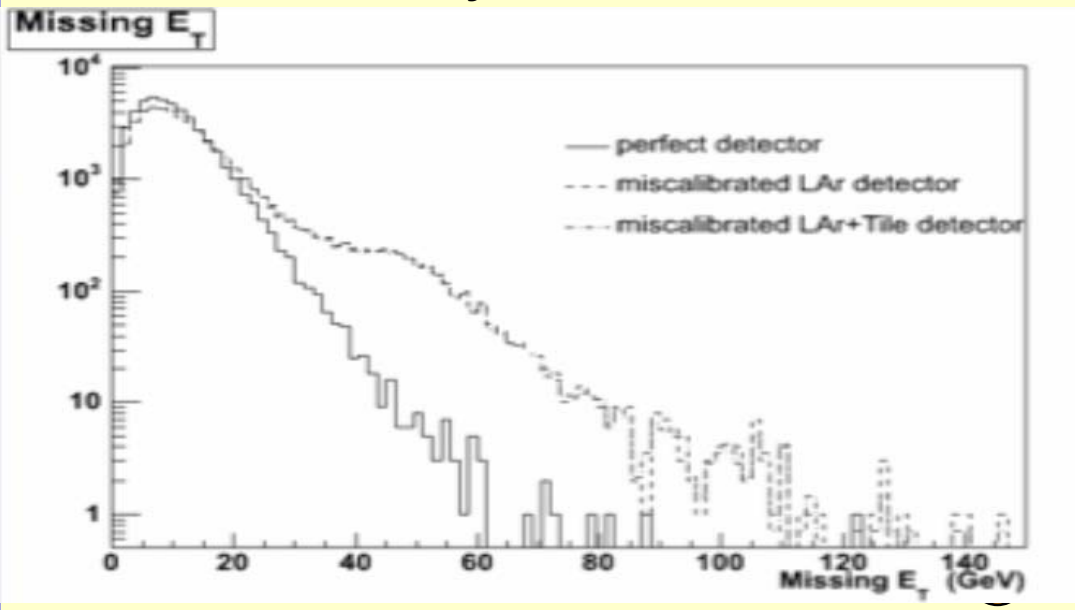
- ⇒ **contrôle et prise en compte des canaux défectueux**
- ⇒ **contrôle/correction (di-jet balancing)**
- ⇒ **mis calibration indiscernable**
- ⇒ **ne sont pas détectées**
- ⇒ **Peut être évaluer rapidement**
- ⇒ **soustraction Pile Up possible**
- ⇒ **Ajouter contribution des traces**
- ⇒ **Peut être pris en compte dans MET**
- ⇒ **filtre au niveau du trigger (?)**
- ⇒ **Fraction électromagnétique ? (Tevatron) évaluer beam-halo avec un seul faisceau**

**Représente un important défis à surmonter.**

## Grandes sensibilités problèmes expérimentaux:

- **Résolution en énergie des calorimètres** 😊
  - cracks dans les calorimètres
  - canaux bruyants/morts

⇒ contrôle et prise en compte des canaux défectueux



⇒ **contrôle/correction (di-jet balancing)**

⇒ **mis calibration indiscernable**

⇒ **ne sont pas détectées**

⇒ **Peut être évaluer rapidement**

⇒ **soustraction Pile Up possible**

⇒ **Ajouter contribution des traces**

⇒ **Peut être pris en compte dans MET**

⇒ **filtre au niveau du trigger (?)**

⇒ **Fraction électromagnétique ? (Tevatron)  
évaluer beam-halo avec un seul faisceau**

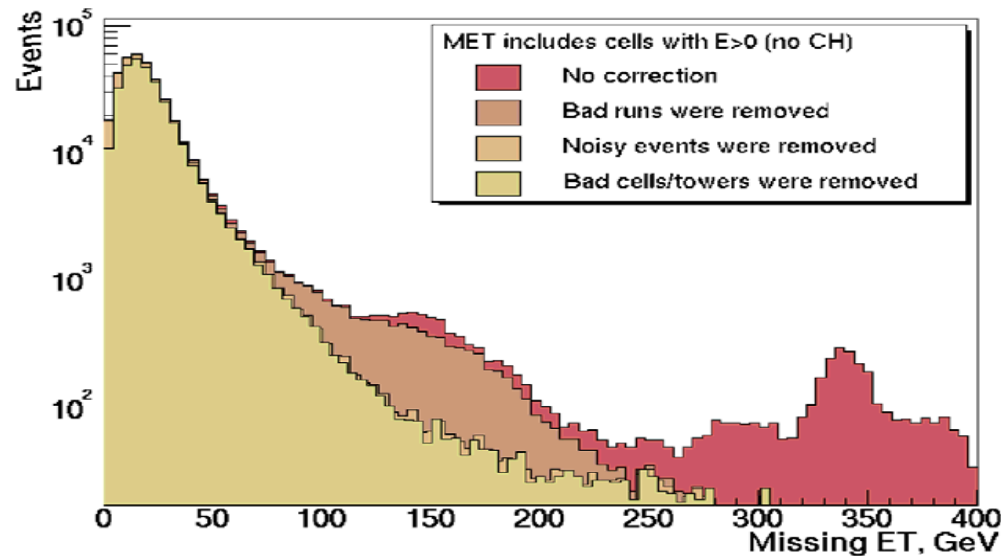
**Représente un important défis à surmonter.**

## Grandes sensibilités problèmes expérimentaux:

- Résolution en énergie des calorimètres 😊
  - cracks dans les calorimètres
  - canaux bruyants/morts

⇒ contrôle et prise en compte des canaux défectueux

Missing ET in MHT30 skim



⇒ contrôle/correction (di-jet balancing)

⇒ mis calibration indiscernable

⇒ ne sont pas détectées

⇒ Peut être évaluer rapidement

⇒ soustraction Pile Up possible

⇒ Ajouter contribution des traces

⇒ Peut être pris en compte dans MET

⇒ filtre au niveau du trigger (?)

⇒ Fraction électromagnétique ? (Tevatron)  
évaluer beam-halo avec un seul faisceau

**Représente un important défis à surmonter.**

**Grandes sensibilités problèmes expérimentaux:**

- **Résolution en énergie des calorimètres** 😊
  - cracks dans les calorimètres
  - canaux bruyants/morts
- **Mis calibration de l'énergie des Jets** 😐
- **ISR/FSR (événements multi-jets)** 😞

QCD:  $80 < p_{t\hat{}} < 120$

Z -> JJ , Mass Resolution

⇒ contrôle et prise en compte des canaux défectueux

⇒ **contrôle/correction (di-jet balancing)**

⇒ **mis calibration indiscernable**

⇒ **ne sont pas détectées**

⇒ **Peut être évaluer rapidement**

⇒ **soustraction Pile Up possible**

⇒ **Ajouter contribution des traces**

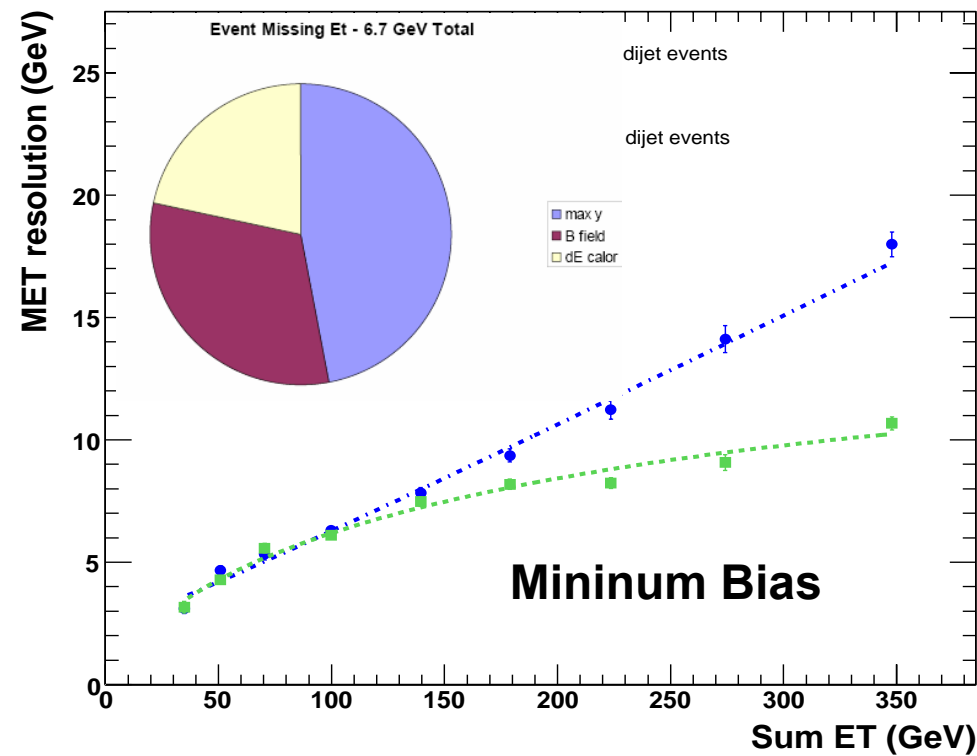
⇒ **Peut être pris en compte dans MET**

⇒ **filtre au niveau du trigger (?)**

⇒ **Fraction électromagnétique ? (Tevatron) évaluer beam-halo avec un seul faisceau**

**Représente un important défis à surmonter.**

## 14 TeV LHC Energy



⇒ contrôle et prise en compte des canaux défectueux

⇒ contrôle/correction (di-jet balancing)

⇒ mis calibration indiscernable

⇒ ne sont pas détectées

⇒ Peut être évaluer rapidement

⇒ soustraction Pile Up possible

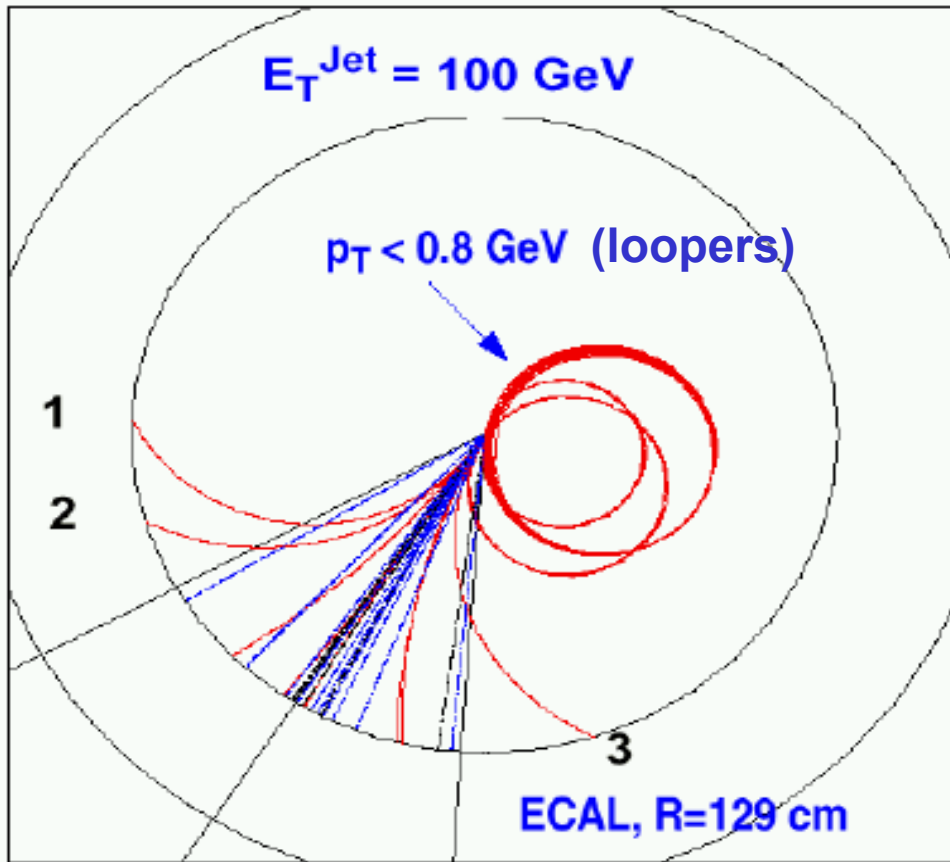
⇒ Ajouter contribution des traces

⇒ Peut être pris en compte dans MET

⇒ filtre au niveau du trigger (?)

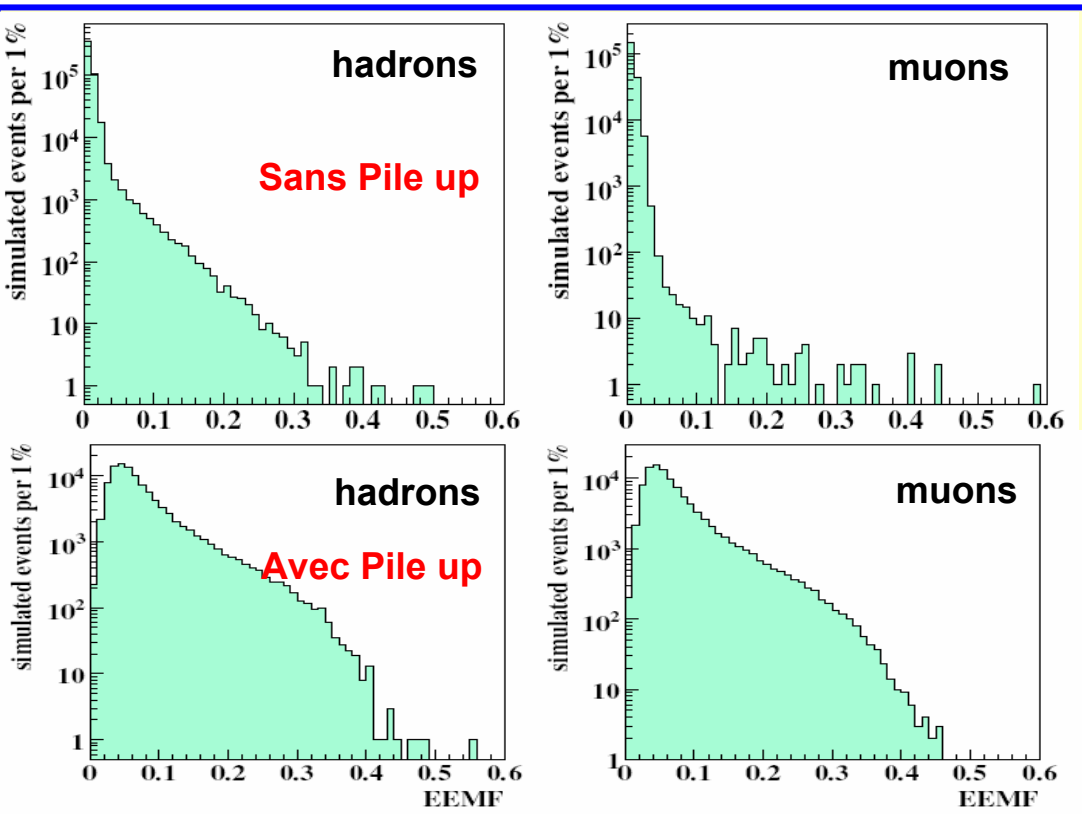
⇒ Fraction électromagnétique ? (Tevatron)  
évaluer beam-halo avec un seul faisceau

**Représente un important défis à surmonter.**




- ⇒ contrôle et prise en compte des canaux défectueux
- ⇒ contrôle/correction (di-jet balancing)
- ⇒ mis calibration indiscernable
- ⇒ ne sont pas détectées
- ⇒ Peut être évaluer rapidement
- ⇒ soustraction Pile Up possible
- ⇒ Ajouter contribution des traces
- ⇒ Peut être pris en compte dans MET
- ⇒ filtre au niveau du trigger (?)
- ⇒ Fraction électromagnétique ? (Tevatron) évaluer beam-halo avec un seul faisceau

**Représente un important défis à surmonter.**



- ⇒ contrôle et prise en compte des canaux défectueux
- ⇒ contrôle/correction (di-jet balancing)
- ⇒ mis calibration indiscernable
- ⇒ ne sont pas détectées
- ⇒ Peut être évaluer rapidement
- ⇒ soustraction Pile Up possible
- ⇒ Ajouter contribution des traces
- ⇒ Peut être pris en compte dans MET
- ⇒ filtre au niveau du trigger (?)

• Beam-halo, beam gas 

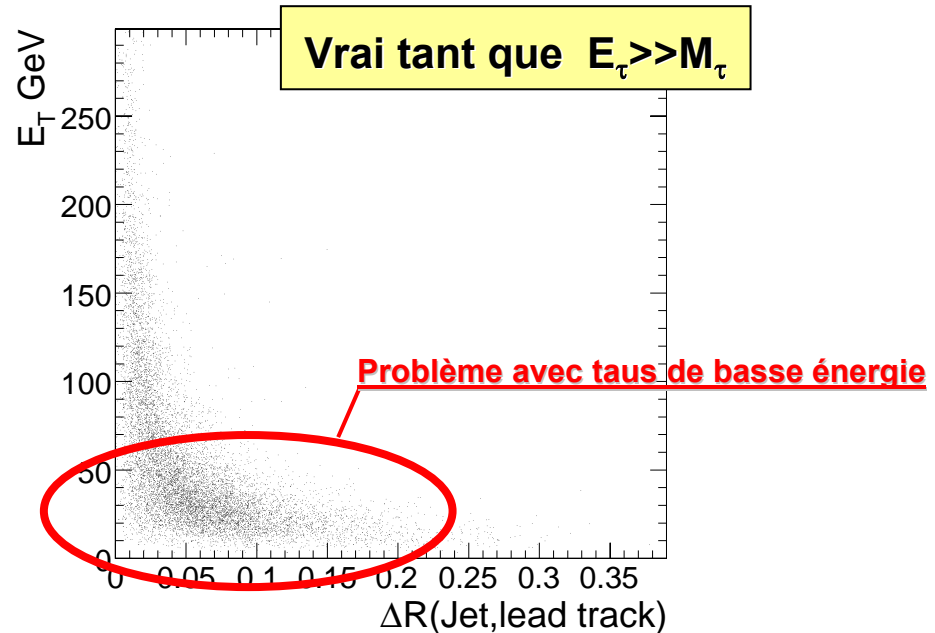
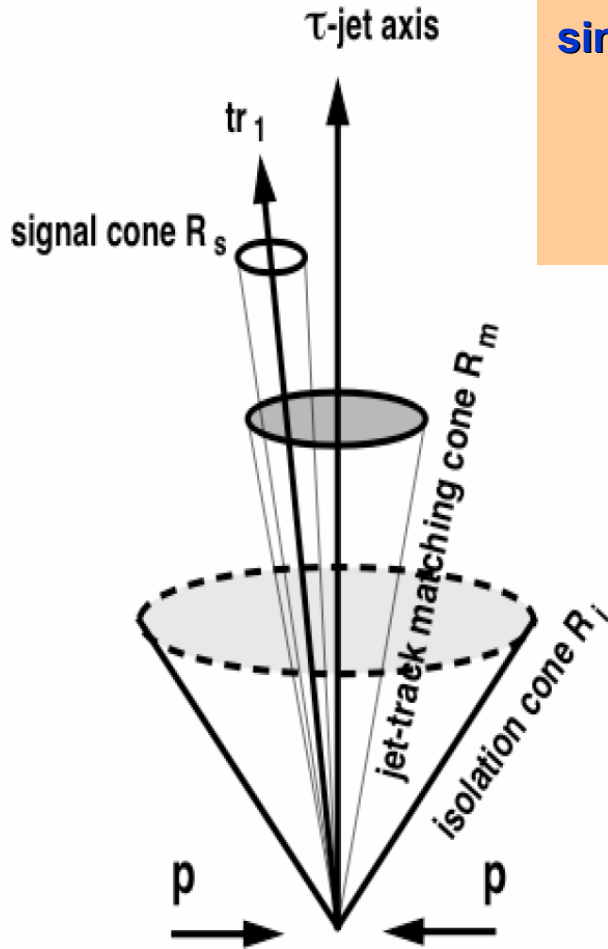
⇒ Fraction électromagnétique ? (Tevatron)  
évaluer beam-halo avec un seul faisceau

**Représente un important défis à surmonter.**

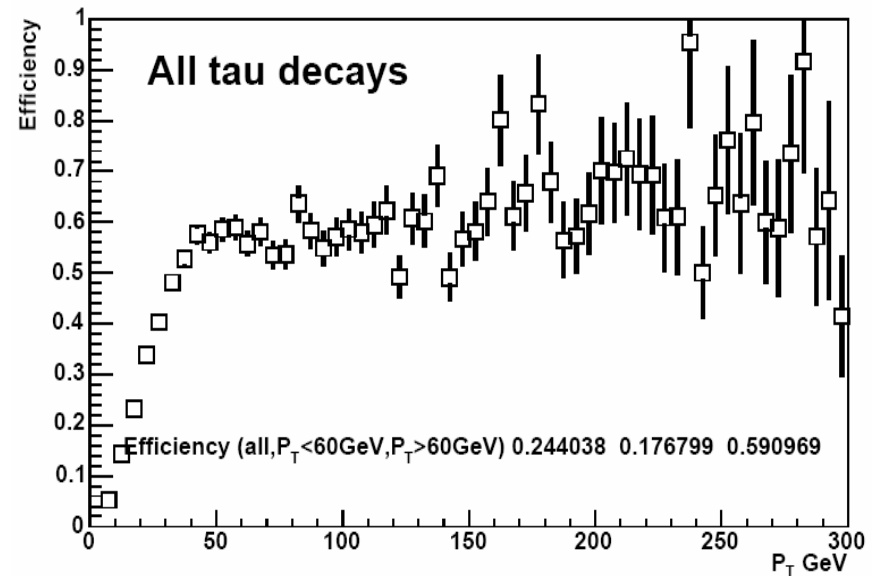
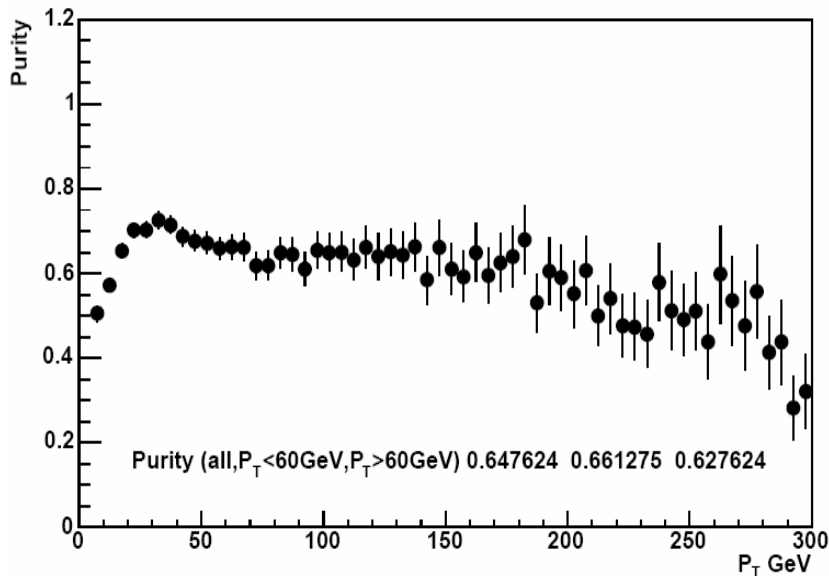


**Propriétés principales des Tau's:**  
**similaire à un jet avec**

- 1 or 3 particules chargées
- toutes les particules dans un cône étroit
- absence de particules autour du cône



- Utilise un cône large pour obtenir une grande fraction de l'énergie du tau  
 $\Rightarrow \Delta R < 0.6$
- L'analyse requiert des tau's aux énergies les plus basses  
 $\Rightarrow E_{t, \text{Jet}} > 5 \text{ GeV}$
- Paramètres choisis tel que  $N_{\text{true tau}} / \sqrt{N_{\text{fake tau}}}$  soit le plus large possible  
 $\Rightarrow P_{t\text{-lead}} > 5 \text{ GeV}; P_{t\text{-track}} > 0.8 \text{ GeV}; \Delta R(\text{lead-track, track}) < 0.1$  et  $\Delta R(\text{lead-track, Jet}) < 0.17$
- Seulement 1 ou 3 trace dans cône  $\Delta R(\text{lead-track, track}) < 0.1$
- Pas de trace avec  $P_t > 0.1 P_{t\text{-lead}}$  dans la région définie par  $0.1 < \Delta R(\text{lead-track, track}) < 0.6$



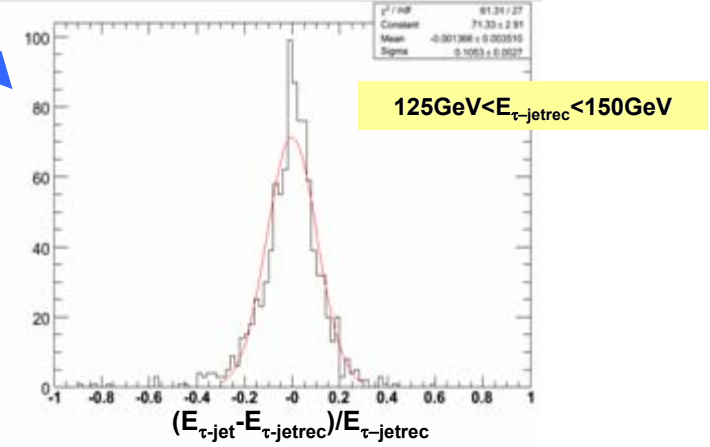
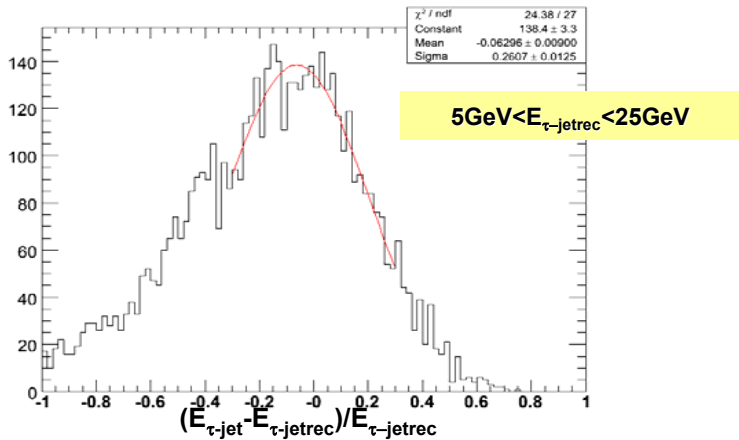
$\Rightarrow$  Pureté moyenne de 64% et efficacités de 17% ( $E_t < 60 \text{ GeV}$ ) / 59% ( $E_t > 60 \text{ GeV}$ )

# Résolution en énergie des tau's

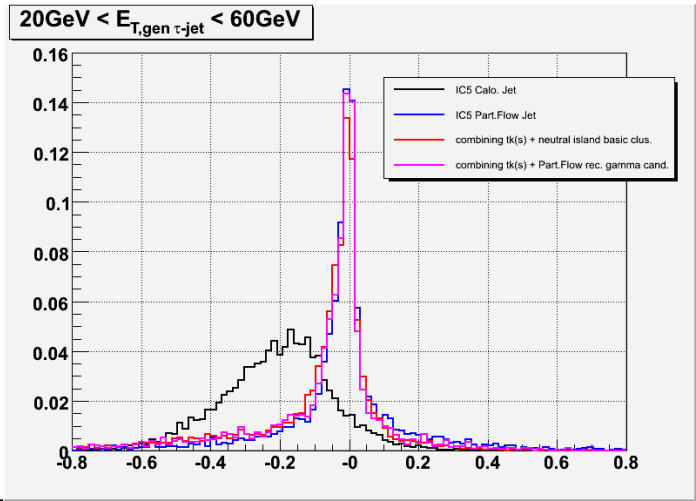
**Résolution en énergie des taus obtenue à partir des calorimètres**

Résolution très dégradées à basse énergie

Résolution acceptable à hautes énergies

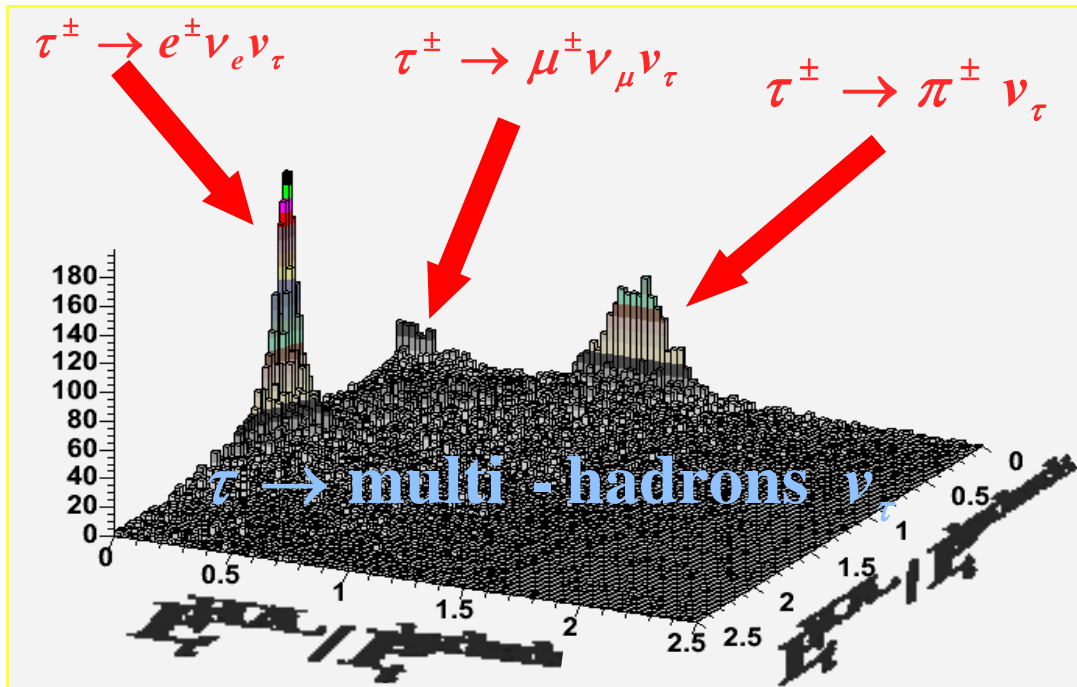


**Amélioration possible:**  
 Identifier les clusters provenant des particules chargées et les remplacer par l'information provenant du tracker "relativement facile" pour les tau's



# Selection des Taus hadroniques

Possible de discriminer entre les différents canaux (1-prong) de désintégration des Taus en comparant les énergies déposées dans le Ecal et le Hcal à celle de la trace mesurée dans le tracker

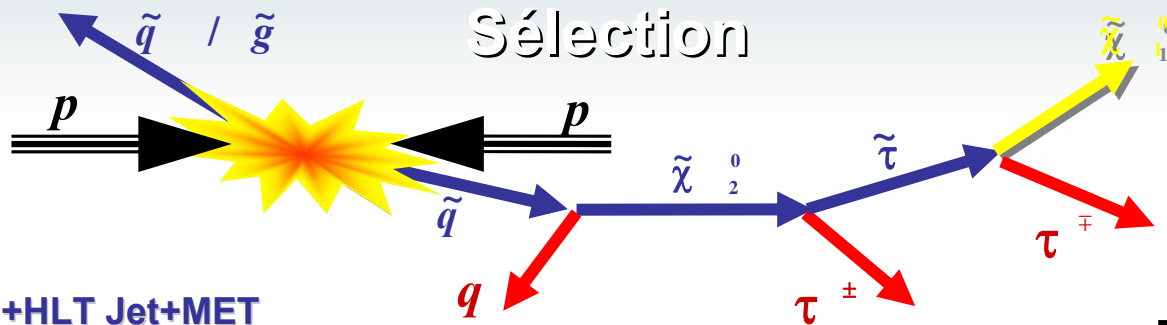


Permet d'éliminer les canaux de désintégrations leptoniques:

- Important bruit de fond
- Energie mal connue ( $\nu_l$ )

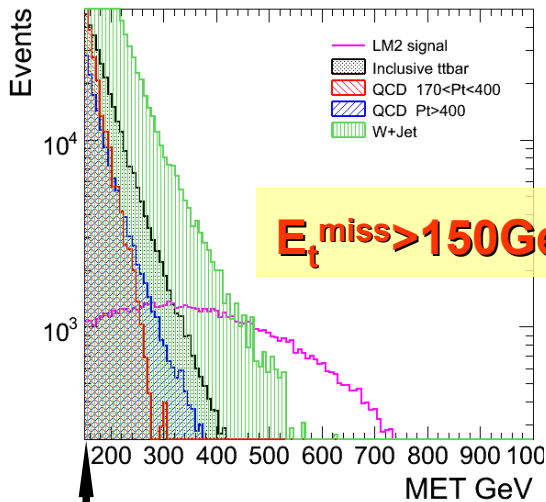
$\tau$  produit dans  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tau \tilde{\tau}$  : efficacité de 63%  
 $\tilde{\tau} \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 \tau$  : eff: 23% ( $E_t < 60\text{GeV}$ )



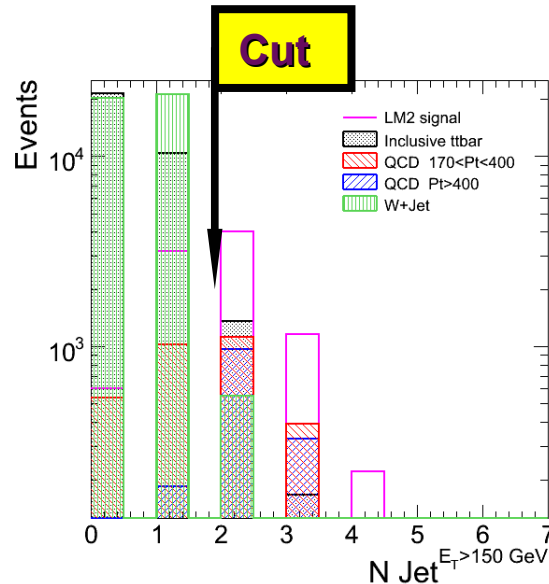


### Sélection:

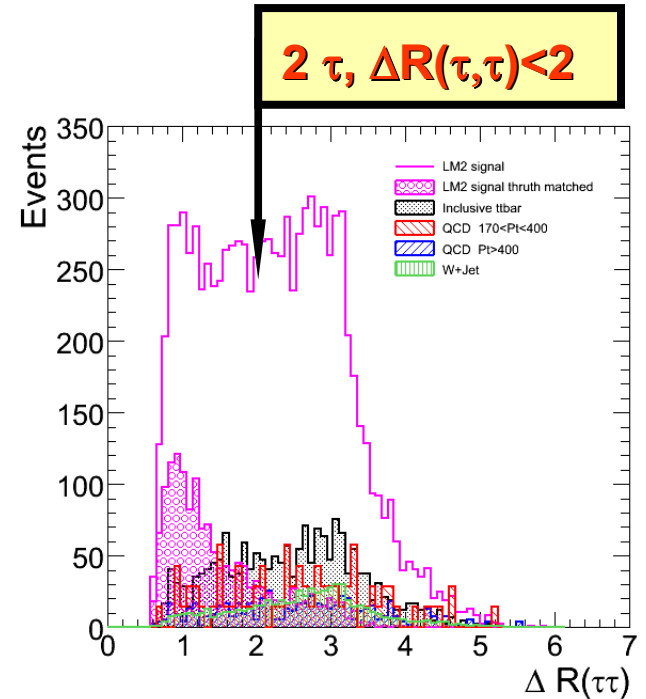
- Trigger L1+HLT Jet+MET
- Grande  $E_t^{miss}$  (due au 2 LSPs)
- au moins 2 jets énergétique (1 par cascade)
- au moins 2 taus (hadroniques) avec  $\Delta R(\tau, \tau) < 2$



**Cut**



**2 jets avec  $E_t > 150 \text{ GeV}$**



### Principaux bruit de fond:

- QCD (50%)
- ttbar (39%)
- W+jets (11%)

# Selection table

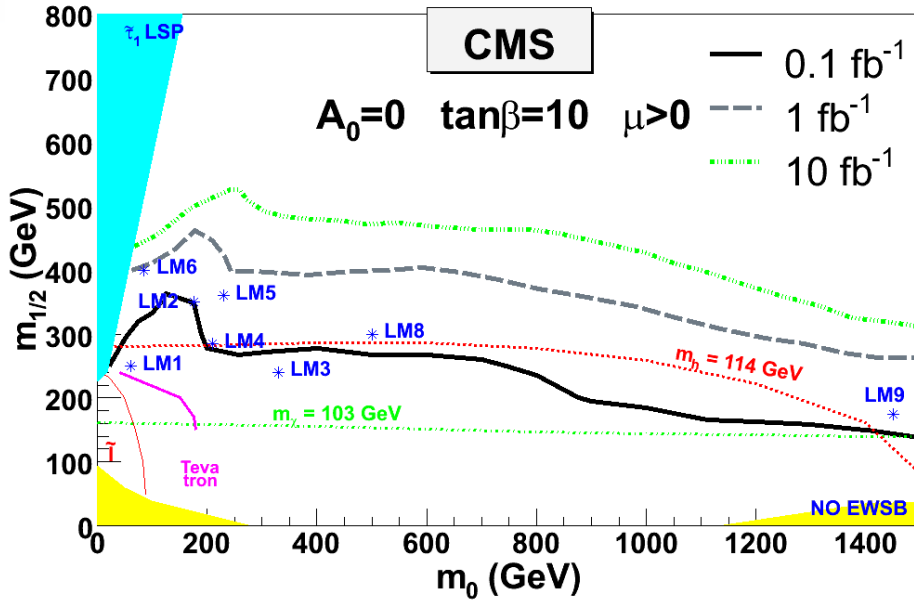
**Candidats Tau**

**Candidats Tau hadronique**

Physics process	no sel. (pb)	$E_T^{\text{miss}} > 150$ GeV (pb)	2 $\tau$ cand. (pb)	2 Jets $E_T > 150$ GeV (pb)	$\delta R(\tau, \tau) < 2$ (pb)	L1+HLT (pb)
LM2 sample inclusive	7.38	6	0.72 <u>0.4</u>	0.43 <u>0.24</u>	0.23 <u>0.12</u>	0.216 <u>0.11</u>
LM2 sample inclusive di- $\tau$ production	3.81	2.97	0.6 <u>0.33</u>	0.36 <u>0.2</u>	0.20 <u>0.11</u>	0.19 <u>0.10</u>
LM2 sample $\tilde{\chi}_2^0$ cascade decay	2.44	1.92	0.46 <u>0.25</u>	0.28 <u>0.16</u>	0.16 <u>0.09</u>	0.16 <u>0.08</u>
$t\bar{t}$ inclusive	492	25.8	2.6 <u>0.8</u>	0.12 <u>0.039</u>	0.045 <u>0.014</u>	0.029 <u>0.009</u>
QCD $170 < \hat{p}_T < 400$ GeV	5930	16	0.25 <u>0.18</u>	0.13 <u>0.1</u>	0.038 <u>0.035</u>	0.019 <u>0.019</u>
QCD $\hat{p}_T > 400$ GeV	437	12	0.12 <u>0.09</u>	0.11 <u>0.08</u>	0.035 <u>0.025</u>	0.018 <u>0.013</u>
$Wbt$ $W \rightarrow \tau\nu_\tau$	0.1	0.011	0.003 <u>0.002</u>	0.0002 <u>0.0001</u>	0.00003 <u>0.00002</u>	0.000024 <u>0.000014</u>
$W$ + jets $125 < \hat{p}_T < 800$ GeV	263	96.1	3.2 <u>0.97</u>	0.042 <u>0.015</u>	0.0078 <u>0.003</u>	0.0078 <u>0.003</u>
$Z/\gamma^* \rightarrow \tau\tau$ $\hat{p}_T > 300$ GeV	0.2	0.03	0.006 <u>0.005</u>	0.0003 <u>0.0002</u>	0.00009 <u>0.00008</u>	0.00008 <u>0.00006</u>

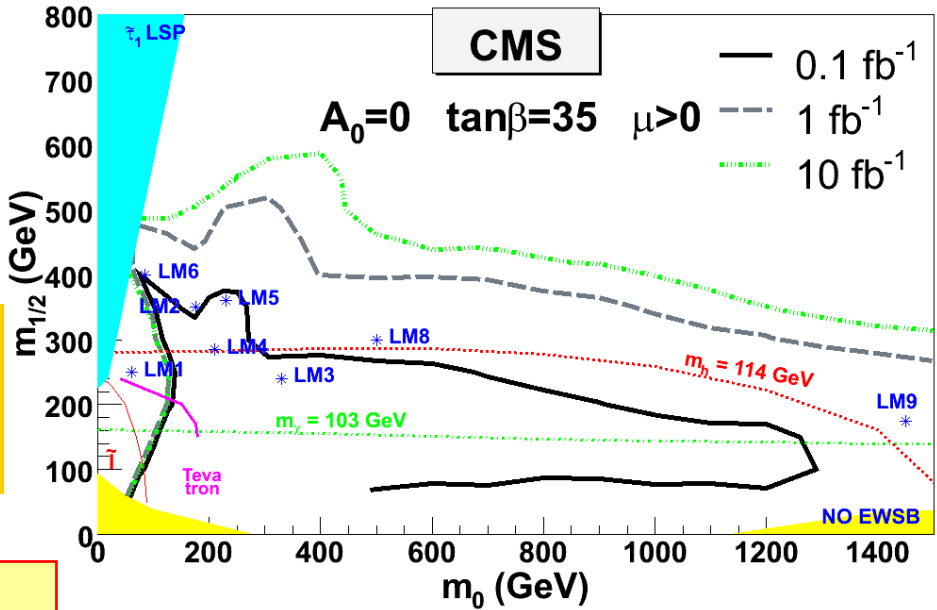
**Seulement 125pb<sup>-1</sup> sont nécessaires pour découvrir LM2 (5 $\sigma$ )**

# Potentiel de découverte de SUSY dans le canal des taus



**Généralisant les résultats obtenu à LM2 à l'espace des paramètres  $m_0, m_{1/2}$  et pour  $\tan\beta=10$  and 35**

**Contours de découverte à  $5\sigma$**   
incluant systématique sur le bruit de fond

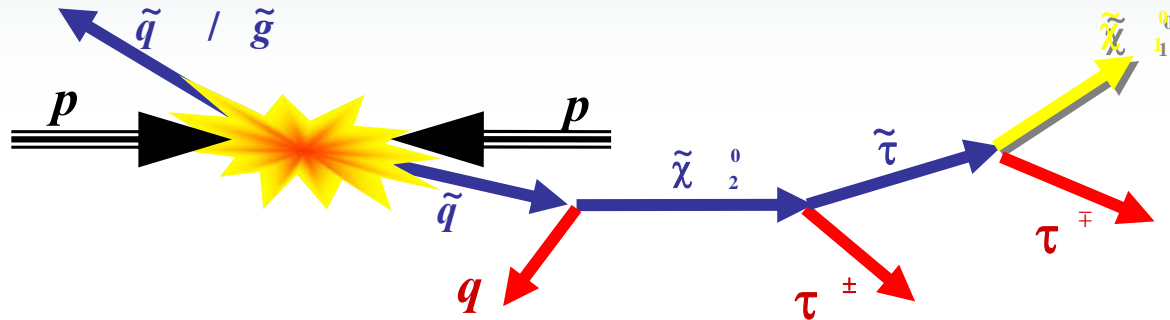


**SUSY avec deux taus peut être découvertes dès le démarrage du LHC**



# Reconstruction de la masse des sparticules

## La méthode des "End-Point"



### Méthode des "End-Point":

Le LSP n'interagissant pas avec le détecteur, une mesure directe de la masse des sparticules est impossible.

Néanmoins on peut exploiter les contraintes cinématiques imposés par les sparticules pour accéder à leur masses.

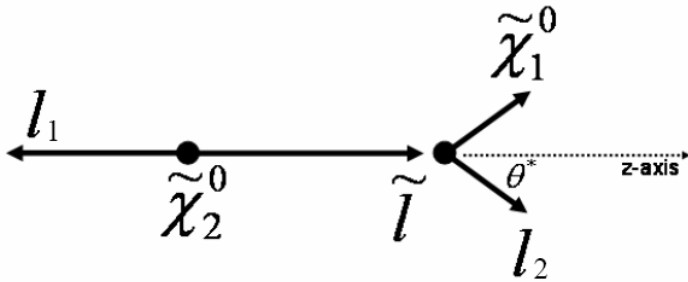
Met à profit les désintégrations successives pour établir différentes relations entre les observables et la masses des sparticules.

Avec un nombre suffisant de désintégrations on peut obtenir un système d'équation avec autant d'inconnu que de masses

⇒ Système d'équations que l'on peut résoudre

# Méthode des End-Points

## Masse effective des deux leptons



Dans le CM du  $\tilde{\chi}_2^0$ :

$$E_{l_1}^* = (M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}}^2) / M_{\tilde{\chi}_2^0}$$

Dans le CM du  $\tilde{l}$ :

$$E_{l_2}^* = (M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2) / M_{\tilde{\chi}_1^0}$$

Masse effective dans CM du  $\tilde{\chi}_2^0$

$$M_{l_1 l_2}^2 = 2E_{l_1} (E_{l_2} + p_T^{l_2})$$

T. Lorentz vers  $\tilde{\chi}_2^0$  CM

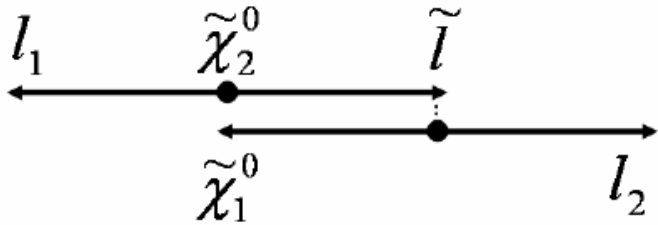
$$E_{l_2} = E_{l_2}^* \gamma (1 + \beta \cos \theta^*)$$

$$p_T^{l_2} = E_{l_2}^* \gamma (\beta + \cos \theta^*)$$

$$M_{l_1 l_2}^2 = \frac{(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}}^2)(M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)}{2M_{\tilde{l}}^2} (1 + \cos \theta^*)$$

# Méthode des End-Points: limite cinématique de la masse invariante

$$M_{l_1 l_2}^2 = \frac{(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}}^2)(M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)}{2M_{\tilde{l}}^2} (1 + \cos\theta^*)$$



limite cinématique obtenue pour  $\cos\theta^*=1$   
correspondant au deux leptons émis dans  
des directions opposées (CM Neutralino2)

Soit:

$$M_{l_1 l_2}^{\max} = \sqrt{\frac{(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}}^2)(M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)}{M_{\tilde{l}}^2}}$$

Ce qui correspond à la valeur limite atteinte  
par la distribution de la masse invariante

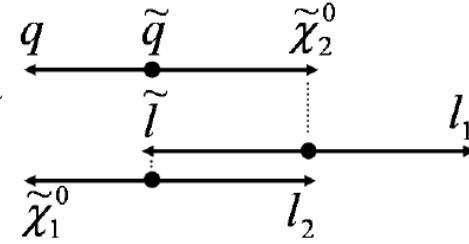
# Méthode des End-Points: Combinaisons entre leptons et quark

De manière similaire:

**LM2**

$$(M_{qll}^{max})^2 = \begin{cases} (M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2) / M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 \\ (M_{\tilde{q}}^2 M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}}^2) / M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 M_{\tilde{l}}^2 \\ (M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{l}}^2)(M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2) / M_{\tilde{l}}^2 \\ (M_{\tilde{q}} - M_{\tilde{\chi}_1^0})^2 \end{cases}$$

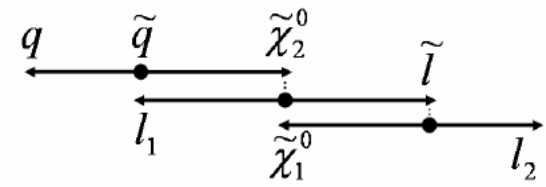
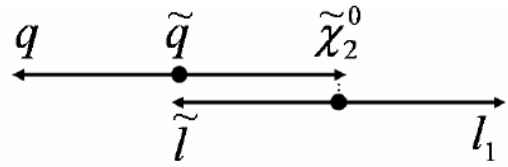
- si  $M_{\tilde{q}} M_{\tilde{\chi}_1^0} > M_{\tilde{\chi}_2^0}^2$
- si  $M_{\tilde{\chi}_2^0} M_{\tilde{\chi}_1^0} > M_{\tilde{l}} M_{\tilde{q}}$
- si  $M_{\tilde{l}}^2 > M_{\tilde{q}} M_{\tilde{\chi}_1^0}$
- autre



4 solutions existent suivant la hiérarchie des masses

$$M_{l_1 q}^{max} = \sqrt{\frac{(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}}^2)(M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)}{M_{\tilde{\chi}_2^0}^2}}$$

$$M_{l_2 q}^{max} = \sqrt{\frac{(M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)(M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)}{M_{\tilde{l}}^2}}$$



$$M_{l_1 q + l_2 q}^{max} = M_{l_1 q}^{max} + \frac{M_{\tilde{l}}^2}{M_{\tilde{\chi}_2^0}^2} M_{l_2 q}^{max}$$

**Problème: Comment distinguer le 1<sup>er</sup> du 2<sup>eme</sup> lepton ???**




# Méthode des End-Points en l'absence d'identification de $l_1$ et $l_2$

Il est cependant possible de réécrire les systèmes d'équations  
en fonction de  $M_{ql(low)}$  et  $M_{ql(high)}$  tel que  $M_{ql(low)} < M_{ql(high)}$

$$(M_{ql(low)}^{max}, M_{ql(high)}^{max}) = \begin{cases} (M_{ql_1}^{max}, M_{ql_2}^{max}) \\ (M_{ql(eq)}^{max}, M_{ql_2}^{max}) \\ (M_{ql(eq)}^{max}, M_{ql_1}^{max}) \end{cases}$$

LM2



si  $2M_{\tilde{l}}^2 > M_{\tilde{\chi}_1^0}^2 + M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 > 2M_{\tilde{\chi}_1^0} M_{\tilde{\chi}_2^0}$

si  $M_{\tilde{\chi}_1^0}^2 + M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 > 2M_{\tilde{l}}^2 > 2M_{\tilde{\chi}_1^0} M_{\tilde{\chi}_2^0}$

si  $M_{\tilde{\chi}_1^0}^2 + M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 > 2M_{\tilde{\chi}_1^0} M_{\tilde{\chi}_2^0} > 2M_{\tilde{l}}^2$

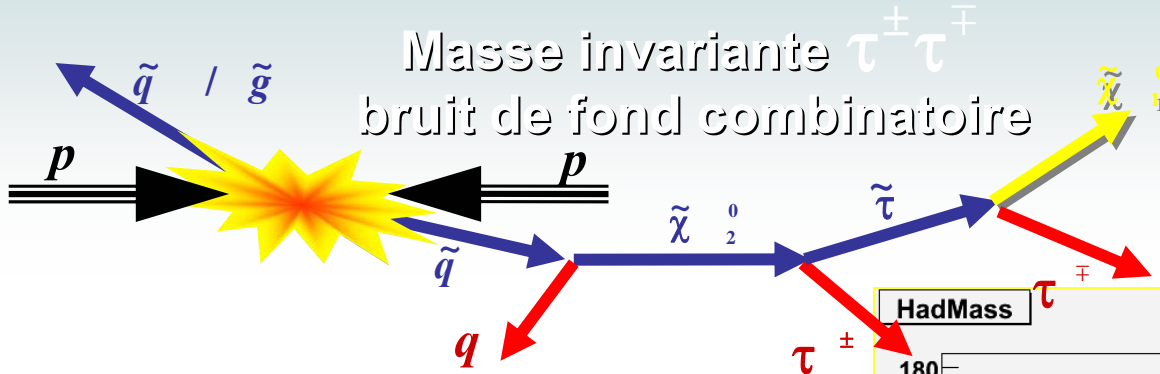
$$M_{ql_1}^{max} = \sqrt{(M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{l}}^2)(M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)} / M_{\tilde{\chi}_2^0}^2$$

$$M_{ql_2}^{max} = \sqrt{(M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)(M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)} / M_{\tilde{l}}^2$$

$$M_{ql(eq)}^{max} = \sqrt{(M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)(M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2)} / (2M_{\tilde{l}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2)$$

**Augmente encore le nombre  
de solutions possibles**





**Les pairs de tau's sélectionnés ont des origines multiples:**

68%  $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tau^{\pm}\tau^{\mp}$  ← **Ce que l'on veut reconstruire**

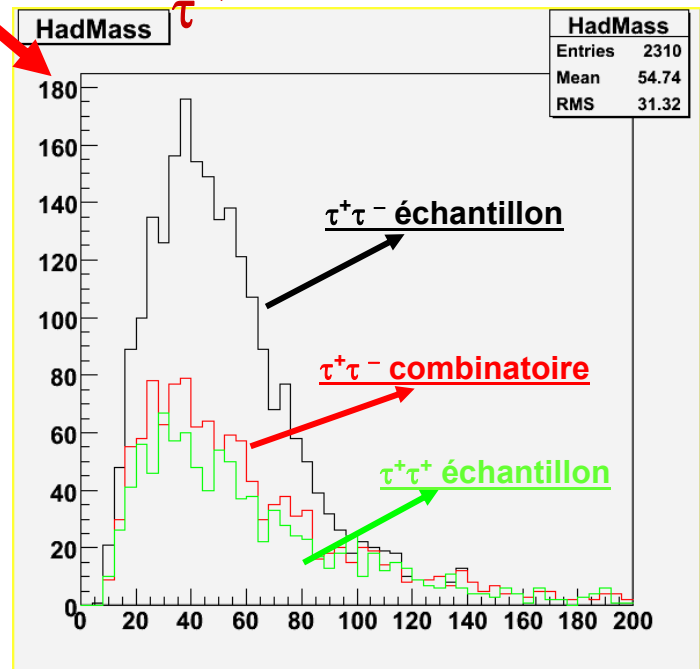
2%  $\tilde{\chi}_{3,4}^0 \rightarrow \tau^{\pm}\tau^{\mp}$

14%  $(\tilde{\chi}_n^0, \tilde{\chi}^{\pm}, W^{\pm}) \rightarrow \tau^{\pm}; (\tilde{\chi}_n^0, \tilde{\chi}^{\mp}, W^{\mp}) \rightarrow \tau^{\mp}$

10%  $\tilde{\chi}^{\pm} \rightarrow \tau^{\pm}; \tilde{\chi}^{\mp} \rightarrow \tau^{\mp}$

9% 1 "faux" tau

7% 2 "faux" taus



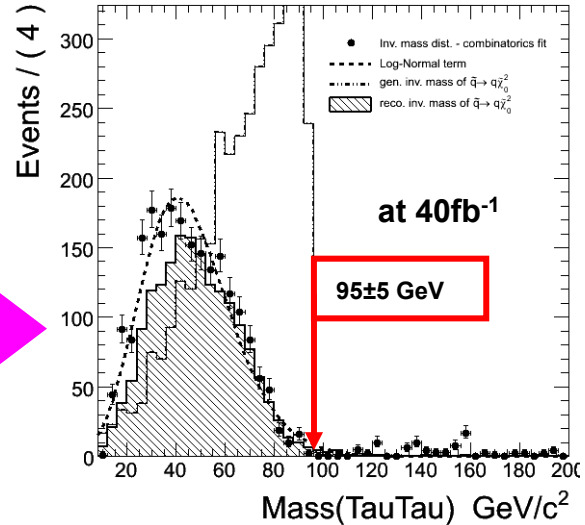
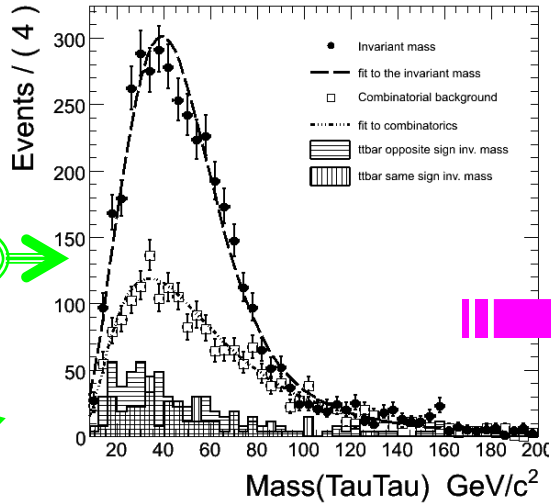
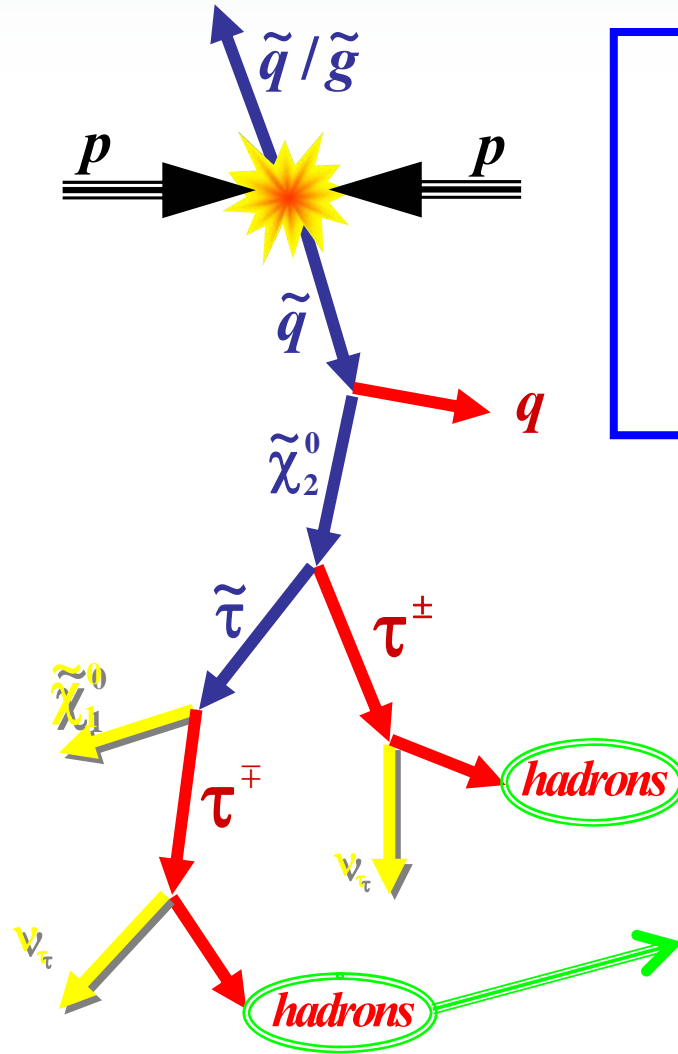
**tau provenant de différentes cascade**

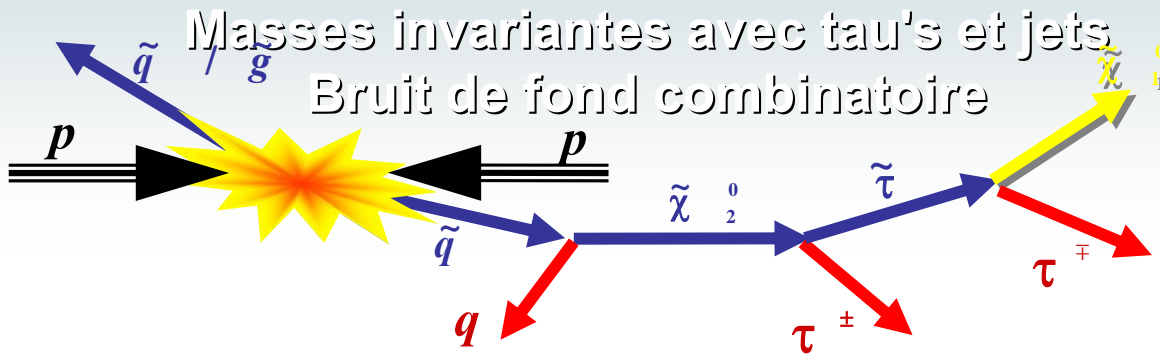
**Bruits de fond MS faibles et répartis également entre les deux échantillons ⇒ Contribution négligeable**

**Combinatoire: indépendant de la charge ⇒ distribution identique à  $\tau^{\pm}\tau^{\pm}$**



1. Fit  $\tau^{\pm}\tau^{\pm}$  distribution
2. Fit  $\tau^{\pm}\tau^{\mp}$  distribution avec 1. + log-normal fonction  
 $\rightarrow$ équivalent à soustraire 1. de 2.
3. Extrait End-Point à partir de la Log-normal

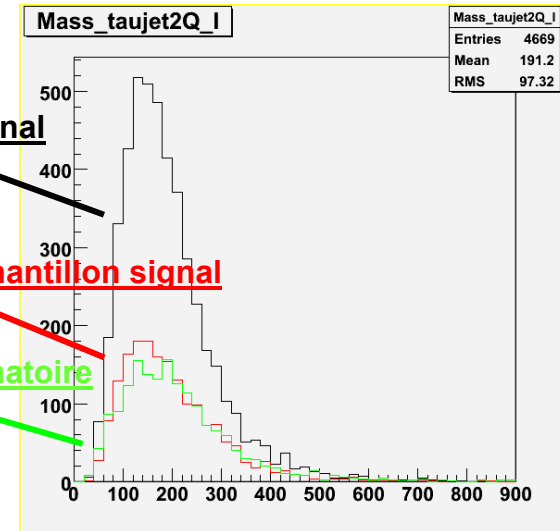
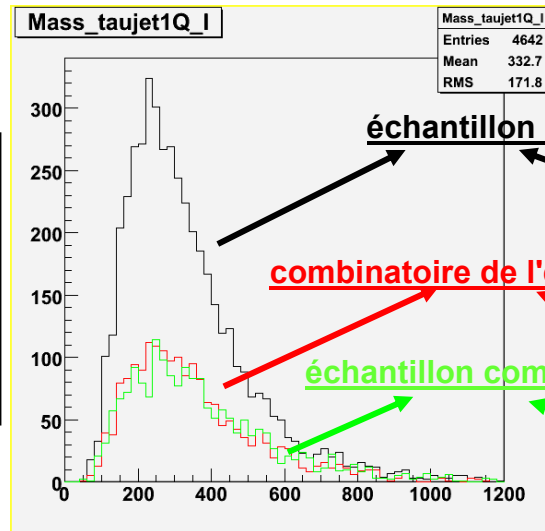




Les échantillons "signal" sont construit en combinant les paires  $\tau^\pm \tau^\mp$  au 2 jets les plus énergétiques.

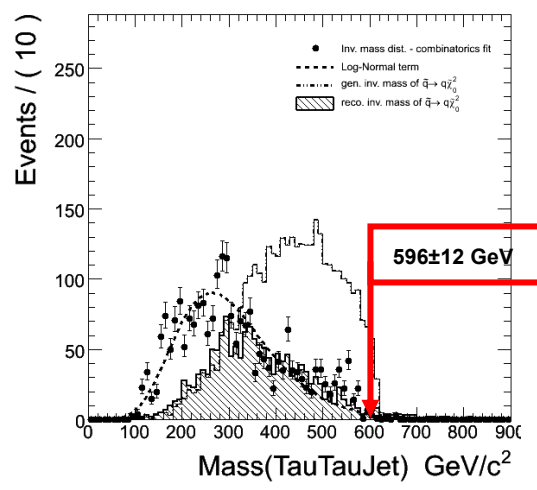
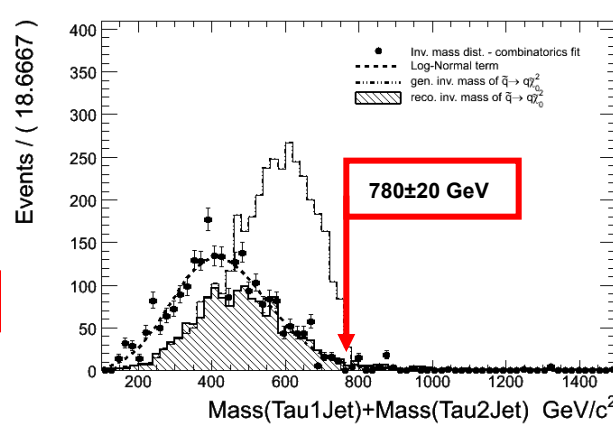
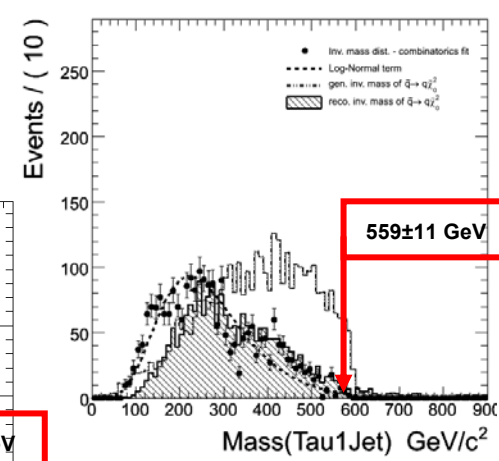
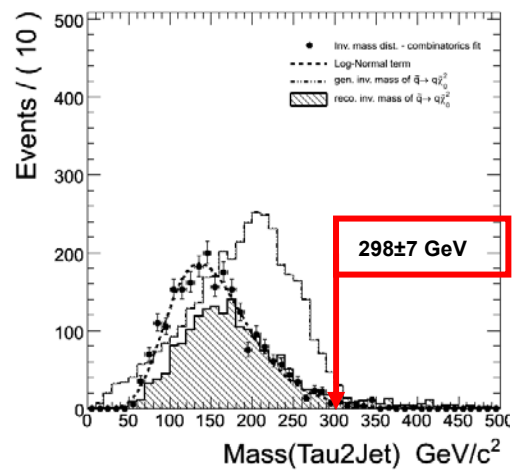
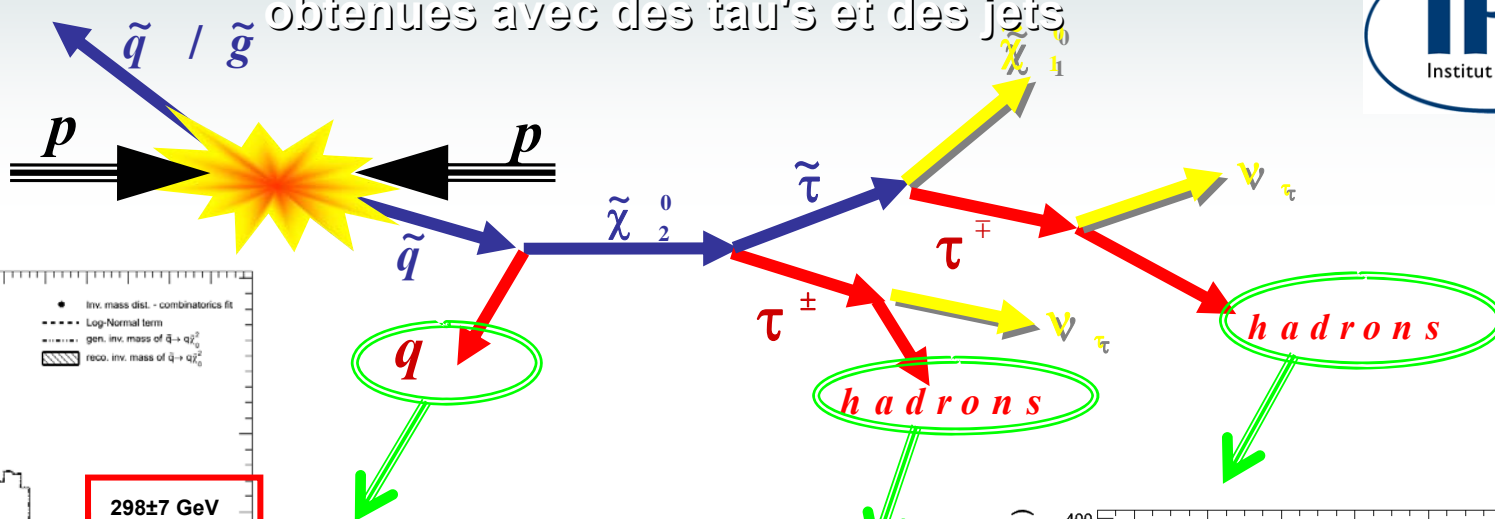
Produit un important bruit de fond combinatoire

Estimé en combinant l'ensemble des paires de taus à un des deux jets pris au hasard parmi les événements déjà utilisés.  
⇒ Jet non corrélé aux taus





# Distributions des masses invariantes obtenues avec des tau's et des jets



⇒ Sur l'ensemble des solutions mathématiquement possible seulement deux retournent une solution physique.

$$2m_{\tilde{\tau}}^2 > m_{\tilde{\chi}_2^0}^2 + m_{\tilde{\chi}_1^0}^2 > 2m_{\tilde{\chi}_2^0}^2 m_{\tilde{\chi}_1^0}^2 \text{ (case 1)}$$

$$m_{\tilde{\chi}_2^0}^2 + m_{\tilde{\chi}_1^0}^2 > 2m_{\tilde{\chi}_2^0}^2 m_{\tilde{\chi}_1^0}^2 > 2m_{\tilde{\tau}}^2 \text{ (case 2)}$$

Utilisés pour le calcul des masses



End-points ( GeV)	case 1 ( GeV)	case 2 ( GeV)
$m(\tau_1\tau_2)^{\max} = 95 \pm 3$	$M(\tilde{\chi}_1^0) = 213 \pm 14$	$M(\tilde{\chi}_1^0) = 147 \pm 23$
$m(\tau_1q)^{\max} = 559 \pm 11$	$M(\tilde{\chi}_2^0) = 337 \pm 17$	$M(\tilde{\chi}_2^0) = 265 \pm 10$
$m(\tau_2q)^{\max} = 298 \pm 7$	$M(\tilde{\tau}) = 310 \pm 17$	$M(\tilde{\tau}) = 165 \pm 10$
$m(\tau_1\tau_2q)^{\max} = 596 \pm 12$	$M(\tilde{q}) = 839 \pm 19$	$M(\tilde{q}) = 763 \pm 33$
$E_5^{meas} = 780 \pm 20$	$E_5^{calc} = 815 \pm 26$	$E_5^{calc} = 765 \pm 30$

# Différenciation entre les deux solutions restantes

Utilise  $E_5$  pour distinguer entre les deux solutions restante

$$E_5 = (m(\tau_1 q) + m(\tau_2 q))^{\max} = \frac{1}{M_{\tilde{\chi}_2^0}} \sqrt{M_{\tilde{q}}^2 - M_{\tilde{\chi}_2^0}^2} [\sqrt{M_{\tilde{\chi}_2^0}^2 - M_{\tilde{\tau}}^2} + \sqrt{M_{\tilde{\tau}}^2 - M_{\tilde{\chi}_1^0}^2}]$$

**Calcul  $E_5$  avec la masse des sparticules obtenues pour chaque solution, et compare avec la valeur de  $E_5$  obtenue à partir de la masse invariante**

⇒ En accord avec case 1 (LM2)

	LM2 test point	
	measured	theory
$M(\tilde{\chi}_1^0)$ ( GeV)	$147 \pm 23(\text{stat}) \pm 19(\text{sys})$	138.2
$M(\tilde{\chi}_2^0)$ ( GeV)	$265 \pm 10(\text{stat}) \pm 25(\text{sys})$	265.5
$M(\tilde{\tau})$ ( GeV)	$165 \pm 10(\text{stat}) \pm 20(\text{sys})$	153.9
$M(\tilde{q})$ ( GeV)	$763 \pm 33(\text{stat}) \pm 58(\text{sys})$	753-783 (light $\tilde{q}$ )

- **Supersymétrie dans les canal des taus représentent un important secteur de SUSY (surtout a grand  $\tan\beta$ ) son exploration est essentiel**

**Inaccessible sans les taus**

- **On a montré ici l'utilisation des taus est très compétitive par rapport aux autres canaux leptoniques.**

**Découverte possible peu de temps après le démarrage possible**

- **La reconstruction de la masse des sparticules est difficile mais possible nécessite cependant une importante statistique ( $>10\text{fb}^{-1}$ )**

**Précisions attendues plus faible que pour les autres leptons**

**Il s'agit du premier résultat de cet ordre obtenu obtenu avec des taus**

**⇒ amélioration de la technique sans doute possible**

**Grand nombres de problèmes expérimentaux à résoudre et comprendre d'ici un an (pour exploiter toutes les capacité du LHC (et de CMS) et rendre une telle découverte possible**

**La voie est tracée mais le chemin reste à faire !!!**